

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra Elektroniky**

**Výkonový střídavý zdroj / analyzátor**  
**AC Power Source / Power Analyzer**

**2010**

**Bc. Pavel Obrusnik**

## **Prohlášení Studenta**

Tímto prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem zde všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem pro její tvorbu čerpal.

Datum odevzdání : .....

Podpis : .....

## **Poděkování:**

Chtěl bych tímto poděkovat panu Ing. Tomáši Pavelkovi, Ph.D., který je vedoucím této diplomové práce, za rady a strávený čas, při řešení problémů týkajících se dané problematiky.

### **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá střídavým zdrojem / analyzátozem od firmy Agilent. První část diplomové práce se zabývá schopnostmi střídavého zdroje. Hlavní důraz je kladen na odzkoušení těchto schopností praktickým měřením.

V další části jsou využity měřicí schopnosti zdroje, kdy jsou proměřeny vlastnosti dvou pulzního usměrňovače, řízeného dvou pulzního usměrňovače a zářivky, v různých zapojeních.

Díky možnosti vytvořit takřka jakýkoliv signál, je otestována UPS.

Součástí této práce je rovněž návod k měření na dvou pulzním řízeném usměrňovači, UPS a zářivce, v různých zapojeních.

### **Klíčová slova:**

Střídavý zdroj / analyzátor, Harmonická analýza, Dvou pulzní usměrňovač, UPS, Zářivka, Jednofázový napěťový střídač,

### **Abstract:**

This thesis deals with the AC source / analyzer from Agilent Company. The first part deals with AC power capabilities. The main emphasis is on practical skills testing of these measurements.

The other parts are used in measuring capabilities sources, which are measurement properties two-pulse rectifiers, controlled two-pulse rectifiers and fluorescent lamps in different circuits.

With the ability to create almost any signal that is tested by UPS.

Part of this work is also a guide to measure the controlled two-pulse rectifiers, UPS and fluorescent lamps in different circuits.

### **Key words:**

AC source / analyzer, Harmonic analysis, Two-pulse rectifiers, UPS, Fluorescent lamps, Single-phase inverter

# Seznam použitých symbolů a zkratek

## Použité zkratky a pojmy

AC	střídavý proud (alternating current)
AD	analogově – digitální
C	kondenzátor
D	dioda
D0	nulová dioda
DA	digitálně – analogový
DC	stejnoseměrný proud (direct current)
DSP	digitální signálový procesor
GPIO	rozhraní pro všeobecné použití (General Purpose Interface bus)
L	induktivita
Osc	osciloskop
PWM	pulsně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
R	odpor
RAM	paměť s náhodným přístupem (random-access memory)
RMS	efektivní hodnota (root mean square)
ROM	paměť pouze pro čtení (read only memory)
RS-232	sériový port
SOA	proudové špičky přesahují schopnosti přístroje
V	tyristor

## Použité symboly a veličiny

$I_{RMS}$	[A]	efektivní hodnota proudu
P	[W]	činný výkon
Q	[var]	jalový výkon
S	[VA]	zdánlivý výkon
THD <sub>I</sub>	[%]	celkové harmonické zkreslení proudu
$U_{RMS}$	[V]	efektivní hodnota napětí
$\lambda$	[-]	činitel výkonu

# Obsah

1.	Úvod .....	1
2.	Střídavý napájecí zdroj 6913B.....	2
2.1	Popis střídavého napájecího zdroje 6913B .....	2
2.2	Schopnosti střídavého napájecího zdroje 6913B .....	4
2.3	Výstupní charakteristiky při ustáleném stavu .....	5
2.3.1	Provozní vlastnosti pro rozmezí frekvence 1 – 45 Hz .....	6
2.4	Proudové špičky .....	6
2.4.1	Nastavení proudové špičky .....	7
2.4.2	Příklad proudové špičky .....	7
2.5	RMS proudový limit .....	8
2.6	Napěťová regulace .....	9
2.7	Programovatelná výstupní impedance .....	9
2.8	Příklady programování pomocí čelního panelu .....	9
2.8.1	Nastavení výstupního napětí .....	9
2.8.2	Nastavení výstupní frekvence .....	10
2.8.3	Nastavení DC offsetu .....	11
2.8.4	Nastavení proudové ochrany přístroje .....	12
2.8.5	Zjišťování chybových stavů .....	12
2.8.6	Použití přechodových napěťových režimů .....	13
2.8.7	Nastavení triggrování a fázové synchronizace .....	16
2.8.8	Nastavení rychlosti přeběhu .....	19
2.8.9	Nastavení GPIB a RS-232 .....	21
2.8.10	Ukládání a načtení provozních stavu .....	22
2.8.11	Simulace pulzního snižujícího měniče .....	23
2.8.12	Simulace střídače při 120° řízení .....	23
2.8.13	Simulace dvou pulzního usměrňovače .....	24
2.8.14	Testování nastavitelné výstupní impedance zdroje .....	25
3.	Měření na konkrétních zařízeních .....	26
3.1	Usměrňovač .....	27
3.2	Řízený usměrňovač .....	28
3.2.1	Řízený usměrňovač s odporovou zátěží .....	29
3.2.2	Řízený usměrňovač s odporově induktivní zátěží .....	30
3.3	UPS .....	31
3.3.1	Přerušení signálu napětí .....	32
3.3.2	Pokles signálu napětí .....	33
3.3.3	Zvýšení napětí .....	34
3.3.4	Snížení frekvence .....	35
3.3.5	Zvýšení frekvence .....	36
3.3.6	Ořezání signálu .....	37
3.3.7	Reakce na obdélníkový signál .....	38
3.4	Měření na zářivce .....	38
3.4.1	Zářivka s připojeným kondenzátorem .....	39
3.4.2	Zářivka bez připojeného kondenzátoru .....	40
3.4.3	Zářivka s předradníkem .....	42
3.4.4	Srovnání naměřených výsledků na různých typech zapojení .....	43
3.5	Měření na jednofázovém napěťovém střídači .....	44
4.	Závěr .....	46

## 1. Úvod

Střídavý napájecí zdroj Agilent 6913B má spoustu možností využití, díky možnosti vytvořit takřka libovolný signál a díky širokému množství měření napětí, proudu, výkonů a harmonických spekter.

Široké možnosti tvorby signálů lze využít např. při testování UPS, kdy pomocí zdroje jde nasimulovat libovolnou chybu signálu a zkoumat odezvu UPS.

Další využití má zdroj v praxi, díky schopnosti měření jednotlivých harmonických, protože každý elektronický prvek, pokud má v sobě nějaký nelineární prvek, který je napájen sinusovým napětím, generuje harmonické proudy, které jsou pro svoje negativní vlastnosti na napájecí síť a elektroinstalaci nežádoucí.

## **2. Střídavý napájecí zdroj 6913B**

Tato kapitola se zabývá popisem střídavého napájecího zdroje a popisem jeho možností a funkcí.

### ***2.1 Popis střídavého napájecího zdroje 6913B***

Střídavý napájecí zdroj 6913B se skládá z těchto hlavních bloků:

- Čelní panel
- GPIB/RS-232
- Střídač
- Vstupní usměrňovač
- Usměrňovač
- Napěťové řízení
- Výstupní zesilovač
- DSP
- Výstupní filtr
- Řízení
- Triggrování

#### **Čelní panel**

Na čelním panelu jsou ovládací obvody, displej, klávesnici a otočné pulzní generátory. Dále čelní panel obsahuje digitální obvody, procesor, RAM a ROM. Procesor detekuje stisk kláves a informace odesílá do bloku DSP, poté dostane čelní panel informaci od bloku DSP pro aktualizaci zobrazení.

#### **GPIB/RS-232 rozhraní**

Tento blok obsahuje procesor a GPIB rozhraní řadiče pro komunikaci s řadičem GPIB. Také obsahuje rozhraní pro komunikaci s počítačem přes RS-232. Typ rozhraní, které bude zdroj používat, si volí uživatel. Při použití RS-232 může uživatel zvolit přenosovou rychlost a paritu.

#### **Střídač**

Střídač obsahuje osm výkonových IGBT tranzistorů. Tento blok rozstřídá DC signál o hodnotě 320 V, který mu dodá blok vstupní usměrňovač. Spínací frekvence je synchronizovaná se spínací frekvencí výstupního zesilovače. Spínací frekvence je přibližně 42 kHz.

#### **Vstupní usměrňovač**

AC vstup se stará o usměrnění vstupního napětí o hodnotě 200 nebo 230 V na napětí o hodnotě 320 V, které pak vstupuje do bloku AC střídač.

## **Usměrňovač**

Převádí střídavý signál o frekvenci 42 kHz na stejnosměrný signál o velikosti 503 V. Tento blok dále obsahuje, detektor vysokého a nízkého napětí, který pomocí červené diody na boku zdroje, signalizuje přítomnost vysokého napětí.

## **Napěťové řízení**

V tomto bloku se nastavuje velikost vstupního napětí, buď na 200 nebo 230 V. Dále se tento blok stará o dodání potřebného napětí mezi jednotlivé bloky. O potřebnou velikost napětí se starají napěťové regulátory, které dodávají pro přední panel a GPIB rozhraní +5 V, pro vstupní střídavé relé +15 V, +5 V a  $\pm 15$  V pro výstupní filtr a 48 V pro usměrňovač.

## **Výstupní zesilovač**

Výstupní zesilovač upravuje signál z bloku usměrňovač na signál, který si zvolí uživatel jako např.: sinus, obdélník, ořezaný sinus, vytvořený průběh uživatelem nebo stejnosměrný signál. Výstupní zesilovač je řízený blokem Řízení.

## **DSP**

Blok DSP obsahuje DSP procesor, ROM a DA převodník. Tyto prvky řídí nastavení výstupního napětí a proudu. Také obsahuje AD převodník, aby mohla být zavedena zpětná vazba. Dále obsahuje obvody pro generování libovolných průběhů. Při zapnutí tento blok provede test a veškeré nalezené chyby odešle na čelní displej pomocí chybových hlášek.

## **Výstupní filtr**

Výstupní filtr obsahuje dva filtry pro vyfiltrování spínací frekvence, které se tak nedostane na výstup.

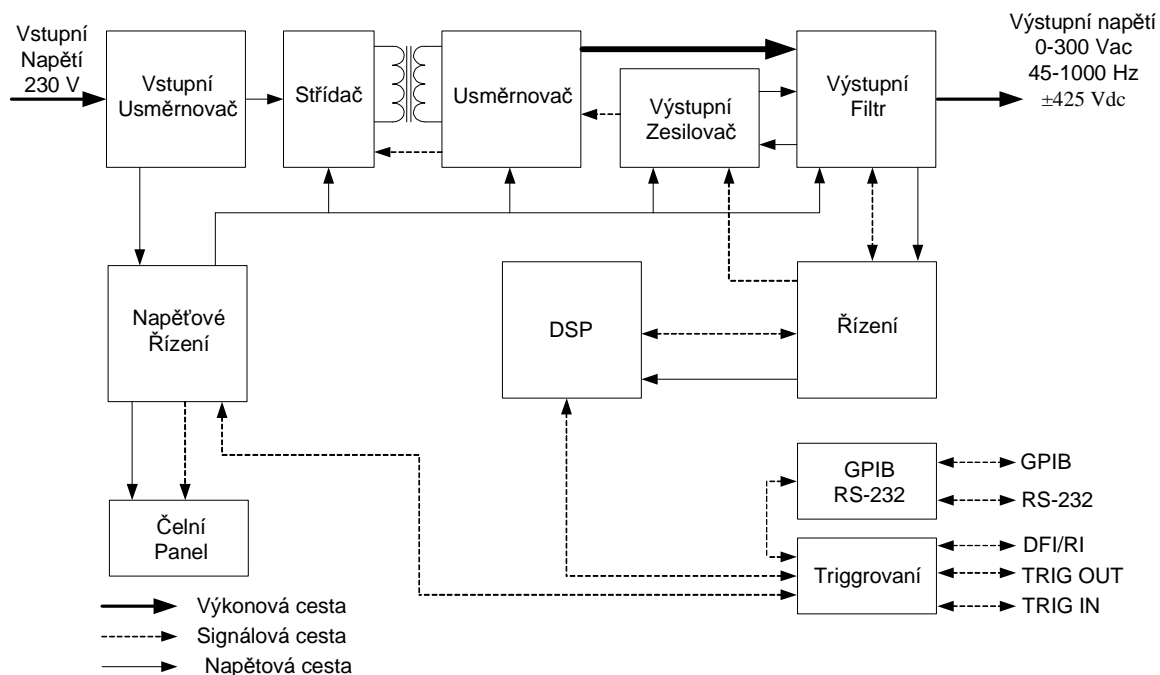
## **Řízení**

Tento blok řídí výstupní zesilovač. Obsahuje PWM komparátor a generátor, pro řízení IGBT tranzistorů výstupního zesilovače, napěťový a proudový měnič rms/DC, napěťový a proudový zpětnovazební zesilovač a všechny analogové obvody pro propojení DSP a výstupního zesilovače.

## **Triggrování**

Tento blok se stará a propojení požadavku na triggrovaní s dalšími částmi zdroje[2].





Obr. 1 – blokové schéma napájecího zdroje 6913B

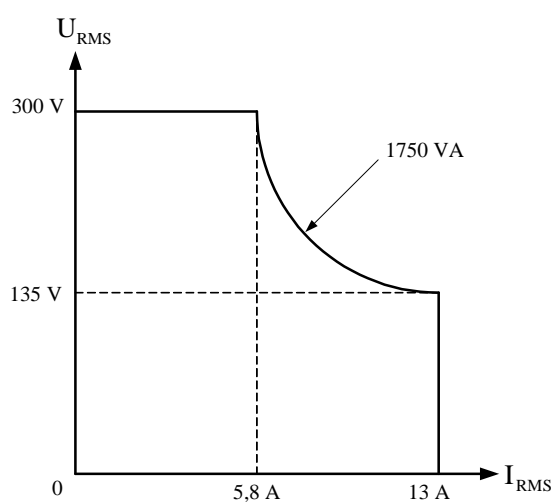
## 2.2 Schopnosti střídavého napájecího zdroje 6913B

Střídavý napájecí zdroj 6913B má tyto schopnosti:

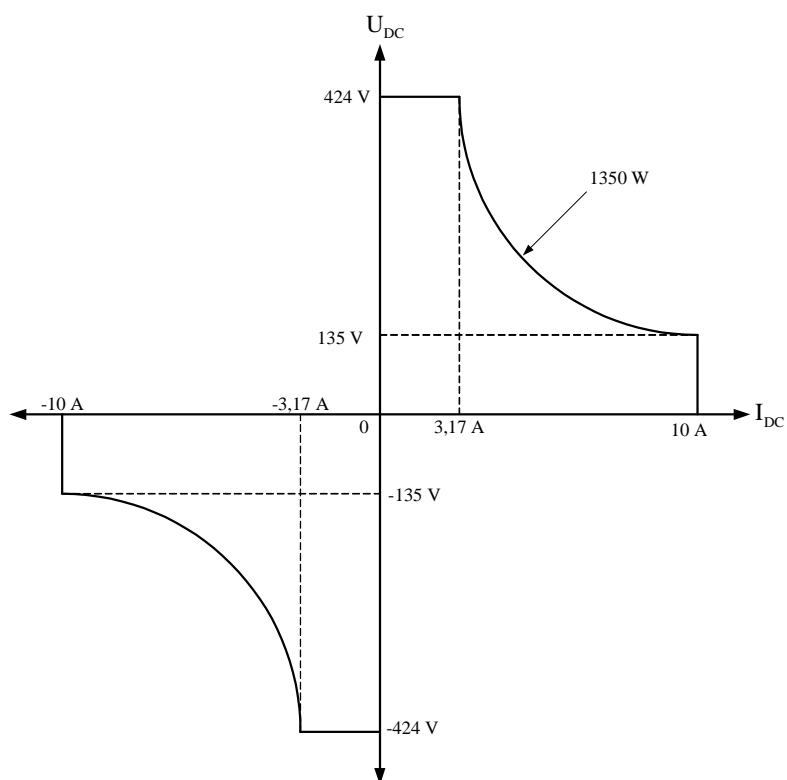
- programovatelná amplituda, frekvence, fáze střídavého napětí.
- programovatelné napěťové a proudové omezení
- programovatelný tvar výstupního průběhu, jako např.: sinus, čtvercové průběhy a jiné uživatelem definované křivky
- programovatelná výstupní impedance
- manuální nastavení a frekvence a napětí
- rozsáhlé schopnosti měření
  - měření AC rms, DC a AC+DC napětí a proudu
  - měření reálného, zdánlivého a jalového výkonu
  - harmonická analýza napětí a proudu až po 50. harmonickou
  - všechna měření jsou v 16 – bitovém rozlišení
- vstupní a výstupní triggrování je synchronizované pro přechodové jevy nebo pro měření s externími signály
- komunikuje přes GPIB a RS-232 rozhraní
- má vnitřní ochranu proti napěťovému, proudovému nebo výkonovému přetížení
- rozsáhlé hlášení o stavu zdroje a kalibrační software

## 2.3 Výstupní charakteristiky při ustáleném stavu

Výstupní charakteristiky při ustáleném stavu jsou zobrazeny na obr. 2 a 3. Ustálený stav je definován jako výstupní hodnota, která bude zachována na neurčitou dobu. Na obr. 2 jsou střídavé a na obr. 3 stejnosměrné vlastnosti zdroje. Rozsah frekvence přístroje ve střídavém provozu je od 45 do 1000 Hz[1].



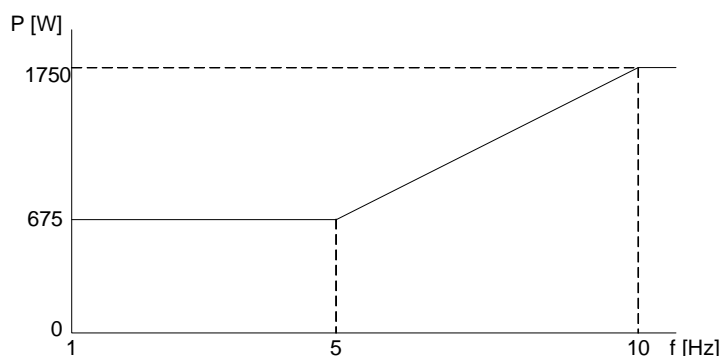
Obr. 2 – střídavé výstupní charakteristiky pro frekvence 45 až 1000 Hz



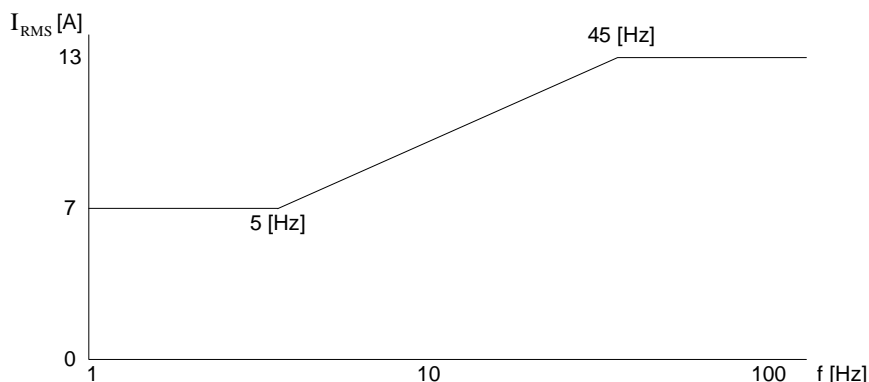
Obr. 3 – stejnosměrné výstupní charakteristiky

### 2.3.1 Provozní vlastnosti pro rozmezí frekvence 1 – 45 Hz

Následující provozní charakteristiky platí pro výstupní frekvence mezi 1 až 45 Hz. Pod frekvencí 1 Hz, okamžité hodnoty splňují dc specifikace. Tvar výstupního signálu byl sinusový, byla použita napěťová regulace v reálném čase, zátěž byla lineární[1].



Obr. 4 – výstupní charakteristika pro frekvenci 1 až 45 Hz



Obr. 5 – výstupní charakteristika pro frekvenci 1 až 45 Hz

## 2.4 Proudové špičky

Přístroj může generovat proudové špičky, které mohou přesáhnout  $I_{RMS}$  přístroje. Proudové špičky mohou nastat ve střídavém ale i ve stejnosměrném režimu. Ve stejnosměrném režimu mohou nastat při naprogramování výstupních impulsů. I když bude přístroj generovat proudové špičky do velikosti 80 A, přístroj může tyto proudové špičky udržet na výstupu jen po určitou dobu. Pokud zdroj překročí bezpečné provozní vlastnosti, což je SOA režim, přístroj aktivuje vnitřní ochranný režim a následně vypne výstup. SOA limit je založen na velikosti a době výstupním napětí a proudu a teplotě chladiče[1].

### 2.4.1 Nastavení proudové špičky

Nastavením maximálního špičkového proudu, zabráníme překročení bezpečných provozních vlastností a tím zabráníme aktivaci vnitřního ochranného režimu, který by vypnul výstup. Nastavený špičkový proud omezí okamžitou hodnotu výstupního proudu.

Funguje to tak, že se sníží okamžité výstupní napětí tak aby se okamžitý výstupní proud rovnal nastavené maximální hodnotě. Jelikož snížení napětí probíhá okamžitě, vznikají tím napět'ové přechody. Přístroj může přejít do CC režimu, který tyto přechodové jevy omezí.

V tabulce č. 1 jsou uvedeny přibližné údaje o tom, jak dlouho bude zdroj tolerovat maximální výstupní proud, než budou překročeny SOA limity. Protože jsou tyto hodnoty závislé na napětí, tabulka obsahuje různé hodnoty stejnosměrného napětí a aktuální velikost proudu. Napětí uvedené v tabulce není naprogramované, ale je to průměrné napětí, které se objeví při špičce proudu.

K aktivování SOA režimu stačí překročit jednu z hodnot napětí, proudu nebo jejich délky trvání[1].

Tab. 1 – tabulka s dovolenou dobou proudových špiček, při konkrétní hodnotě napětí

I[A]	Stejnoseměrné napětí při průchodu proudu					
	25 V	75 V	125 V	190 V	250 V	360 V
20	>100 ms	>100 ms	>100 ms	>100 ms	>100 ms	>100 ms
30	>100 ms	100 ms	30 ms	24 ms	19 ms	15 ms
40	12 ms	9,2 ms	8,4 ms	7,6 ms	6,8 ms	5,9 ms
50	5,6 ms	5,1 ms	4,7 ms	4,4 ms	4 ms	3,5 ms
60	3,7 ms	3,4 ms	3,1 ms	2,9 ms	2,6 ms	2,3 ms
70	2,6 ms	2,4 ms	2,2 ms	2,1 ms	1,9 ms	1,7 ms
80	2 ms	1,8 ms	1,7 ms	1,6 ms	1,4 ms	1,3 ms

Měření probíhalo při okolní teplotě 25 °C a teplotě chladiče 50 °C

### 2.4.2 Příklad proudové špičky

V tabulce č. 2 je uvedeno doporučené počáteční nastavení při proudové špičce a střídavém napětí o velikosti 127 a 254 V a o frekvenci 60 Hz v závislosti na kapacitním zatížení. Doporučená nárazová špička se bude měnit v závislosti na změnách vstupu takto:

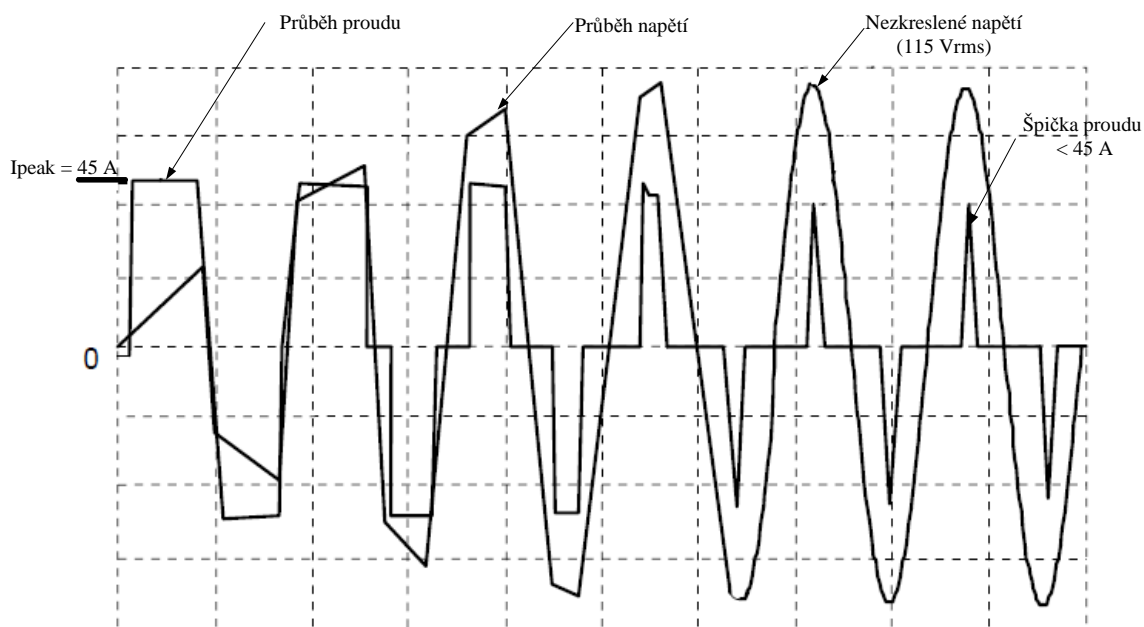
- se zvýšením napětím, je třeba  $I_{peak}$  snížit
- se zvýšením frekvence, může být  $I_{peak}$  zvýšen
- se sníženým zatěžovacím odporu, je třeba  $I_{peak}$  snížit

Účelem nastavení omezení proudových špiček je zabránit aktivaci vnitřních ochran přístroje v důsledku překročení SOA limitů a tím vypnutí výstupu přístroje. Počáteční nastavení může být zvýšeno, pokud SOA nevypne výstup. K správnému nastavení  $I_{peak}$  je třeba někdy použít metodu pokus omyl.

Tab. 2 – špičkové proudy, při kapacitní zátěži a příslušném napětí

C [ $\mu$ F]		I <sub>peak</sub> [A]
127 V	254 V	
$\leq 1100$	500	80
1200	-	60
1700	700	50
5000	1000	45
>5000	>1000	<45

Obrázek č. 6 ukazuje průběh spínacího proudu přístroje. Špičkový proud je omezen během nárůstu v souladu s tabulkou č. 1, tak aby se nevypnul výstup. Průběh proudu se vrátí do normálu, když klesne pod proudové omezení[1].



Obr. 6 – příklad omezení proudové špičky

## 2.5 RMS proudový limit

Výstupní I<sub>RMS</sub> je nastavitelný na libovolnou hodnotu, tato hodnota je omezena možnostmi přístroje. Je-li v důsledku nastaveného I<sub>RMS</sub>, překročen výkon, sníží se výstupní napětí tak, aby nebyl ovlivněn nastavený proud. I když se sníží napětí, je zachován jeho tvar křivky.

Rychlost I<sub>RMS</sub> je závislá na nastaveném výstupním napětí a nastavená výstupní impedanci. S nízkým nastaveným napětím a vysokou nastavenou impedancí obvod reaguje pomaleji. S konstantní výstupním výkonem nebo se záporným odporem zátěže, nastavený I<sub>RMS</sub> způsobí, že výstupní napětí jde k nule[1].

## ***2.6 Napět'ová regulace***

### **Napět'ová regulace v reálném čase**

Defaultní nastavený způsob regulace výkonu, používá napět'ovou regulaci v reálném čase. Napět'ová regulace v reálném čase se snaží poskytnout aktuální naprogramovaný průběh na výstup zdroje. To nabízí nejlepší reakci na naprogramovaný průběh a jeho nejrychlejší realizaci. Tato regulace není omezena průběhy s kmitočtem nižším než 45 Hz.

### **RMS napět'ová regulace**

RMS napět'ová regulace pomáhá napět'ové regulaci v čase s výstupem nebo stabilizuje výstupní efektivní napětí. RMS napět'ová regulace se používá v těchto případech:

- při velkém výstupním zatížení
- při frekvenční regulaci s velkým výstupním zatížením
- ve spojení s programovatelnou výstupní impedancí, pokud chceme zachovat velikost efektivního výstupního napětí, při zvyšující se výstupní impedanci.

RMS napět'ová regulace se nepoužívá při frekvencích menších než 45 Hz[1].

## ***2.7 Programovatelná výstupní impedance***

Může být naprogramován výstupní odpor nebo induktivní reaktance. Výstupní induktivní reaktance může být nastavena v rozmezí 20 až 1000  $\mu\text{H}$ . Výstupní odpor může být nastaven v rozmezí 0 až 1 ohm.

Při programování výstupní impedance je třeba brát zřetel na impedanci zátěže, protože čím nižší je impedance zátěže tím nižší může být použita naprogramovaná impedance, aby bylo i nadále možno udržet stabilní napětí. To platí zejména pro výstupní impedance o velikosti menší než jeden ohm[1].

## ***2.8 Příklady programování pomocí čelního panelu***

V této části jsou ukázány možnosti střídavého zdroje na konkrétních příkladech. Tyto příklady byly programovány pomocí čelního panelu přístroje.

### **2.8.1 Nastavení výstupního napětí**

Jsou tři možnosti jak nastavit výstupní napětí přístroje. Zadáním konkrétní hodnoty, pomocí šipek pro inkrementaci a dekrementaci nebo pomocí otočného regulátoru. V tomto příkladu bude výstupní napětí nastaveno na hodnotu 50 V.

Pro první dvě možnosti, se vstoupí pomocí tlačítka *Voltage* do napět'ového menu. Poté se pro první možnost, nastaví pomocí číslic požadovaná hodnota a ta je následně potvrzena klávesou enter. U druhé

možnosti se pomocí kláves pro inkrementaci a dekrementaci nastaví žádaná hodnota a opět se potvrdí klávesou enter. Po nastavení žádaných hodnot se výstup zdroje zapne pomocí klávesy *Output On/Off*.

#### **Displej**

*VOLT 50*

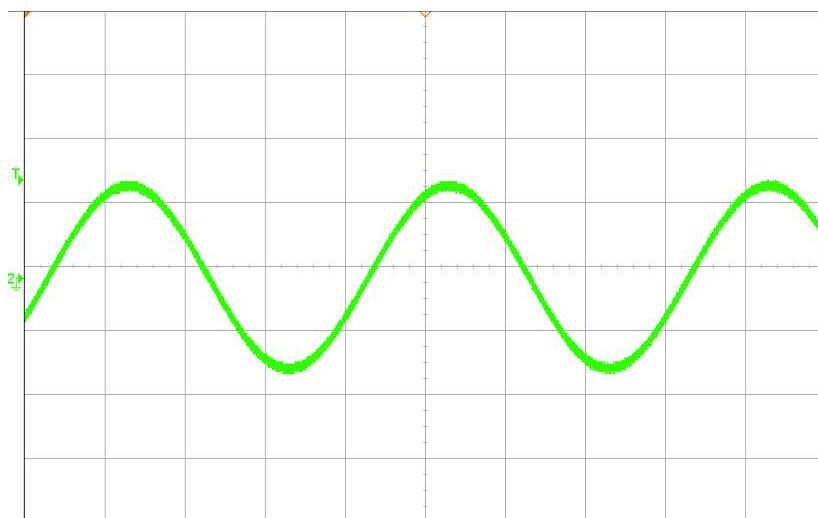
*50 V 50 Hz*

#### **Poznámka**

Nastavení požadované hodnoty v napěťovém menu.

Zobrazení požadované hodnoty, při aktivovaném výstupu.

Třetí možnost je nastavení požadované hodnoty pomocí otočného regulátoru. Výstup je zapnut klávesou *Output On/Off* a pomocí otočného regulátoru je nastaven na požadovanou hodnotu, nastavovaný výstup je možné sledovat na displeji.



Obr. 7 – průběh nastaveného napětí, osa x 5 ms/d, osa y 50V/d

Hodnota napětí se nastavuje v efektivních hodnotách, maximální nastavitelná hodnota efektivního napětí je 300 V.

### **2.8.2 Nastavení výstupní frekvence**

I pro nastavení výstupní frekvence jsou tři možnosti jak toho dosáhnout. Zadáním konkrétní hodnoty, pomocí šipek pro inkrementaci a dekrementaci nebo pomocí otočného regulátoru. V tomto příkladu bude výstupní frekvence nastavena na hodnotu 500 Hz.

Pro první dvě možnosti, se vstoupí pomocí tlačítka *Freq* do frekvenčního menu. Poté se pro první možnost, nastaví pomocí číslic požadovaná hodnota a ta je následně potvrzena klávesou enter. U druhé možnosti se pomocí kláves pro inkrementaci a dekrementaci nastaví žádaná hodnota a opět se potvrdí klávesou enter.

#### **Displej**

*FREQ 50*

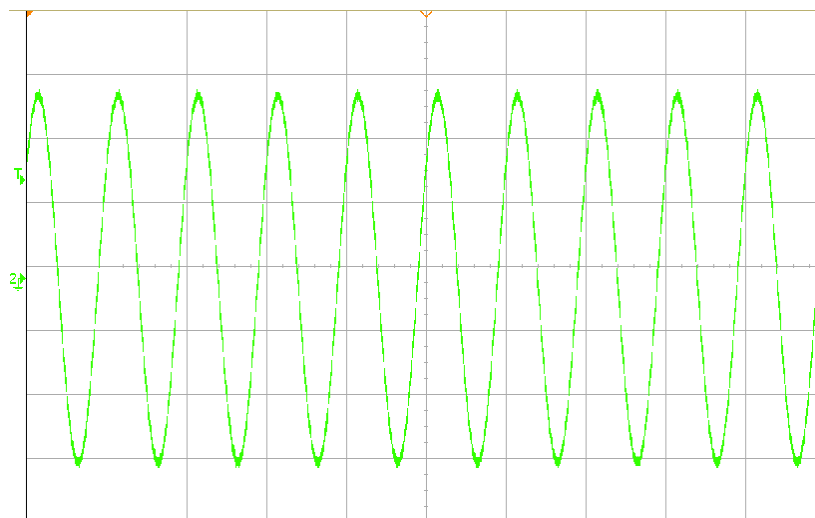
*100 V 500 Hz*

#### **Poznámka**

Nastavení požadované hodnoty ve frekvenčním menu.

Zobrazení požadované hodnoty, při aktivovaném výstupu.

Třetí možnost je nastavení požadované hodnoty pomocí otočného regulátoru. Pomocí otočného regulátoru je nastaven na požadovanou hodnotu, nastavovaný výstup je možné sledovat na displeji.



Obr. 8 – průběh nastavené frekvence, osa x 2 ms/d, osa y 50 V/d

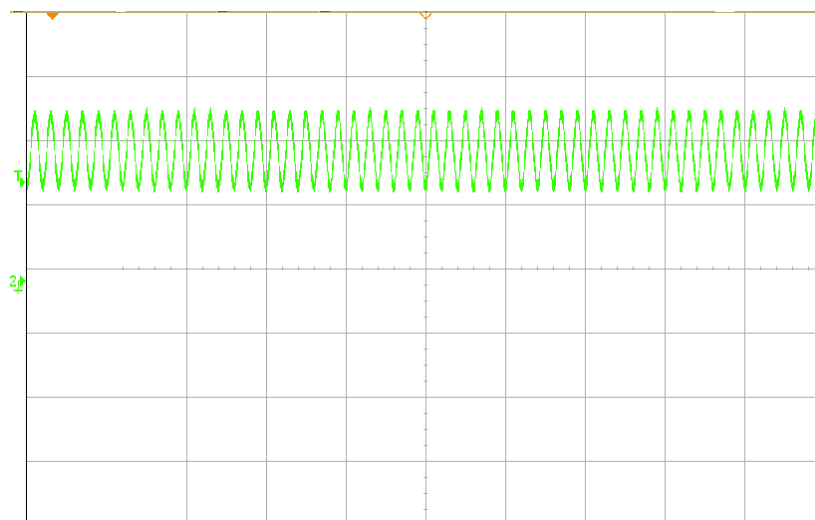
### 2.8.3 Nastavení DC offsetu

DC offset je nastaven na hodnotu 100 V, efektivní napětí je 20 V.

Nejdřív se nastaví efektivní napětí na hodnotu 20 V. Pomocí klávesy *Voltage* se vstoupí do napěťového menu, ve kterém se pomocí šipek dostaneme na nastavení offsetu, který se nastaví na požadovanou hodnotu a ta je potvrzena klávesou enter. Pomocí kláves *Shift Output* se vstoupí do menu výstupu. Kde se nastaví DC výstup.

Displej	Poznámka
<i>VOLT 20</i>	Nastavení efektivní hodnoty napětí
<i>OFFSET 100</i>	Nastavení offsetu
<i>OUTPUT:COUP DC</i>	Nastavení DC výstupu
<i>100 V 50 Hz</i>	Zobrazení požadovaného výstupu





Obr. 9 – průběh nastaveného offsetu, osa x 100 ms/d, osa x 50 V/d

## 2.8.4 Nastavení proudové ochrany přístroje

Proudová ochrana je nastavena na 0,5 s.

Pomocí klávesy *Protect* se vstoupí do menu pro ochranu přístroje, kde se aktivuje proudová ochrana. Dále se nastaví doba zpoždění pro aktivaci chybové ochrany.

Displej	Poznámka
<i>CURR:PROT ON</i>	Aktivování proudové ochrany
<i>DELAY .5</i>	Nastavení doby zpoždění
<i>PROT: CLEAR</i>	Vymazání nastavené ochrany

## 2.8.5 Zjišťování chybových stavů

Pokud je na displeji zapnuta *Prot* signalizace, zdroj je z nějakého důvodu vypnut. Chybové stavy jsou udány v tabulce č. 3.

Tab. 3 – chybové stavy

Signalizace	Popis	Číslo bitu	Váha bitu
<b>OV</b>	Překročení napěťové ochrany	0	1
<b>OCP</b>	Překročení nadproudové ochrany	1	2
<b>SOA</b>	Proudové špičky přesahují schopnosti přístroje	2	4
<b>OT</b>	Překročena vnitřní teplota	4	16
<b>RI</b>	Externí ovládání je omezeno	9	512
<b>Rail</b>	Problém s napájecím napětím	11	2048

Pomocí kláves *Shift Status* se vstoupí do menu stavu přístroje. Kde se pomocí příkazu *Questionable Ebony* zjistí bit chyby.

<b>Displej</b>	<b>Poznámka</b>
<i>QUES:EBEN?</i>	Příkaz <i>Questionable Ebony</i>
<i>QUES:EBEN 513</i>	Stisknutím klávesy enter na příkazu <i>Questionable Ebony</i> , je zjištěn bit chyby

Hodnota chyby je součet vah bitu, které hlásí chybu. V tomto případě je to 513 což znamená, že bit 0 (1) a bit 9 (512) hlásí chybu.

### 2.8.6 Použití přechodových napětových režimů

Zdroj má následující přechodové napětové režimy:

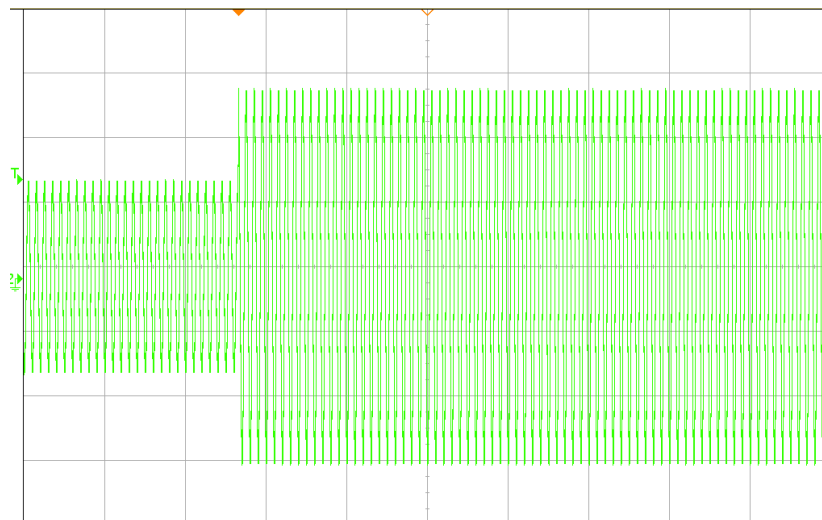
<b>STEP</b> (krok)	Výstup trvale změní spouštěcí hodnotu
<b>PULSE</b> (puls)	Výstup se spouští v konkrétním čase, tak je nastaven v menu pulsů
<b>LIST</b> (seznam)	Výstup je v sekvenci podle hodnot, které jsou udány v seznamu
<b>FIXED</b> (fixní)	Zakáže přechodový režim pro danou funkci

**Step** (krok)

Napětí bude nastavena na 50 V a pak zvýšeno na 100 V.

Stisknutím klávesy *Voltage* se vstoupí do napětového menu, kde se nastaví aktuální hodnota a poté se nastaví hodnota, na kterou výstup zdroje skočí z aktuální hodnoty. Dále se nastavit napětový mód. Poté se zapne okamžité trigrování.

<b>Displej</b>	<b>Poznámka</b>
<i>VOLT 50</i>	Nastavení aktuální hodnoty
<i>VOLT:T 100</i>	Nastavení hodnoty, na kterou se bude skákat z aktuální hodnoty
<i>VOLT:M STEP</i>	Nastavení napětového modu
<i>INIT:IMMED</i>	Zapnutí okamžitého trigrování
<i>100 V 50 Hz</i>	Stisknutím <i>Shift Trigger</i> se zpustí nastavený program



Obr. 10 – průběh napěťového přechodu Step, osa x 200 ms/d, osa y 50 V/d

### **Pulse (puls)**

Napětí bude nastaveno na 50 V a z něho skočí na 100 V po dobu 75 ms, což bude 25% periody, to se zopakuje celkem třikrát.

Stisknutím klávesy *Voltage* se vstoupí do napěťového menu, kde se nastaví aktuální hodnota a poté se nastaví hodnota, na kterou výstup zdroje skočí z aktuální hodnoty. Dále se nastavit napěťový mód. Stisknutím klávesy *Pulse* se vstoupí do menu pulsu, kde se nastaví šířka pulsu a jeho procentuální velikost z periody a nakonec počet period. Poté se zapne okamžité trigrování.

### **Displej**

*VOLT 50*

*VOLT:T 100*

*VOLT:M PULSE*

*WIDTH .075*

*DCYCLE 25*

*COUNT 3*

*INIT:IMMED*

*100 V 50 Hz*

### **Poznámka**

Nastavení aktuální hodnoty

Nastavení hodnoty, na kterou se bude skákat z aktuální hodnoty

Nastavení napěťového modu

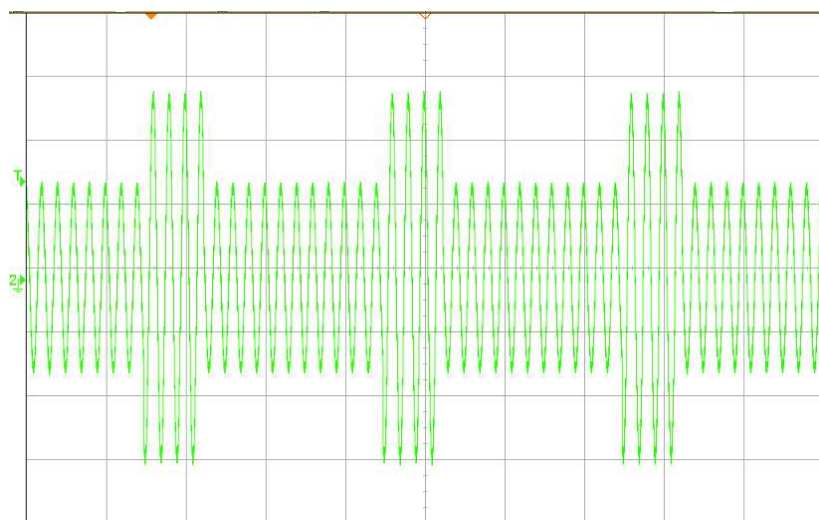
Nastavení šířky pulsu

Nastavení poměru pulsu k periodě

Nastavení počtu opakování

Zapnutí okamžitého trigrování

Stisknutím *Shift Trigger* se zpusť nastavený program



Obr. 11 - průběh napěťového přechodu Pulse, osa x 100 ms/d, osa y 50 V/d

### List (seznam)

Napětí bude na základní hodnotě 50 V, z něhož na 40 ms skočí na 120 V, pak na 70 ms bude hodnota 10 V, poté skočí na 80 V po dobu 100 ms z toho skočí na 0 V po dobu 70 ms, pak po dobu 150 ms skočí na 50 V a nakonec, skočí na hodnotu 25 V, která bude trvat 70 ms. Tento přechod se zrealizuje celkem dvakrát a pak opět skočí na základní hodnotu.

Nejprve se nastaví napěťový mód a poté se v menu seznamu, kam se vstoupí, pomocí stisknutí kláves *Shift List*. V menu seznamu se nejprve nastaví počet opakování, pak doba trvání jednotlivých pulsu a poté amplitudu jednotlivých pulsu. V tomto menu se ještě nastaví reakce na trigrování. Na konec se zapne okamžité trigrování.

### Displej

*VOLT:M LIST*

*COUNT 2*

*DWEL 0 .04*

*DWEL 1 .07*

*DWEL 2 .1*

*DWEL 3 .07*

*DWEL 4 .15*

*DWEL 5 .07*

*DWEL 6 .EOL*

*VOLT 0 120*

*VOLT 1 10*

*VOLT 2 80*

*VOLT 3 0*

*VOLT 4 50*

*VOLT 5 25*

*VOLT 6 EOL*

### Poznámka

Nastavení napěťového modu

Nastavení počtu opakování

Nastavení doby trvání pulsu, potvrdí se klávesou enter čímž se dostaneme k zadání další hodnoty

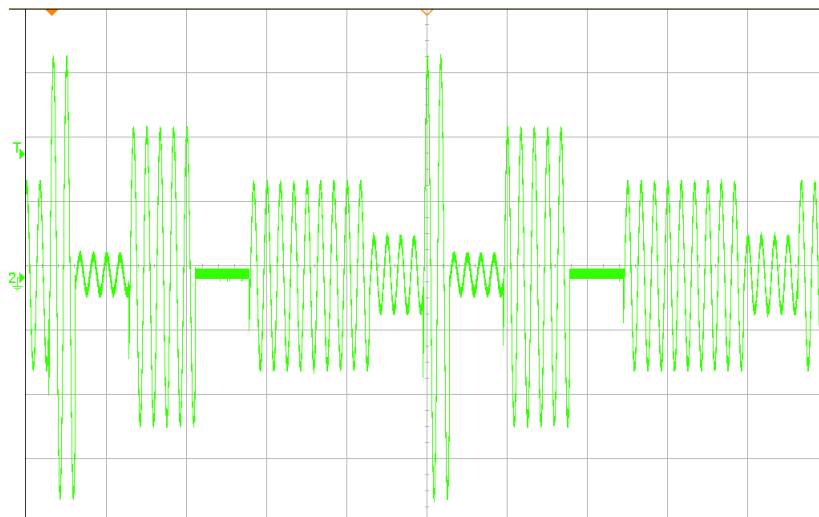
Při stisknutí klávesy enter bez zadání hodnoty, se ukončí seznam

Nastavení amplitudy pulsu, potvrdí se klávesou enter čímž se dostaneme k zadání další hodnoty

Při stisknutí klávesy enter bez zadání hodnoty, se ukončí seznam

STEP AUTO  
INIT:IMMED  
50 V 50 Hz

Nastavení reakce na trigrovaní  
Zapnutí okamžitého trigrovaní  
Stisknutím *Shift Trigger* se zpusť nastavený program



Obr. 12 - průběh napěťového přechodu List, osa x 100 ms/d, osa y 50 V/d

### 2.8.7 Nastavení trigrování a fázové synchronizace

Zdroj má následující možnosti trigrování:

<b>Základní trigrování</b>	trigrování začne, jakmile je nastaven skok
<b>Zpožděné trigrování</b>	trigrování začne, jakmile uběhne nastavena doba zpoždění
<b>Fázová synchronizace</b>	skok napětí nastane, podle nastavené fáze

#### Základní trigrování

Základní napětí je nastaveno na 50 V, skok napětí je nastaven na 100 V.

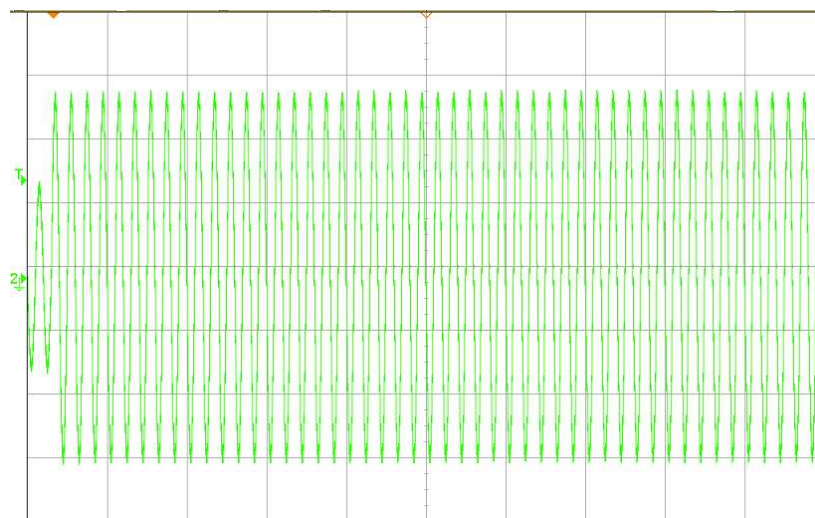
Stisknutím klávesy *Voltage* se vstoupí do napěťového menu, kde se nastaví aktuální hodnota a poté se nastaví hodnota, na kterou výstup zdroje skočí z aktuální hodnoty. Dále se nastaví napěťový mód. Poté se zapne okamžité trigrování.

#### Displej

VOLT 50  
VOLT:T 100  
VOLT:M STEP  
INIT:IMMED  
100 V 50 Hz

#### Poznámka

Nastavení aktuální hodnoty  
Nastavení hodnoty, na kterou se bude skákat z aktuální hodnoty  
Nastavení napěťového módu  
Zapnutí okamžitého trigrování  
Stisknutím *Shift Trigger* se zpusť nastavený program



Obr. 13 – průběh základního triggrování, osa x 100 ms/d, osa y 50 V/d

### Zpožděné triggrování

Základní napětí je nastaveno na 20 V, skok napětí je nastaven na 70 V, zpoždění triggrování je nastaveno na 40 ms.

Stisknutím klávesy *Voltage* se vstoupí do napěťového menu, kde se nastaví aktuální hodnota a poté se nastaví hodnota, na kterou výstup zdroje skočí z aktuální hodnoty. Dále se nastaví napěťový mód. Po stisknutí *Trigger control*, je v menu triggrování, nastaveno zpoždění triggrování. Nakonec se zapne okamžité triggrování.

#### Displej

*VOLT 20*

*VOLT:T 70*

*VOLT:M STEP*

*DELAY .04*

*INIT:IMMED*

*70 V 50 Hz*

#### Poznámka

Nastavení aktuální hodnoty

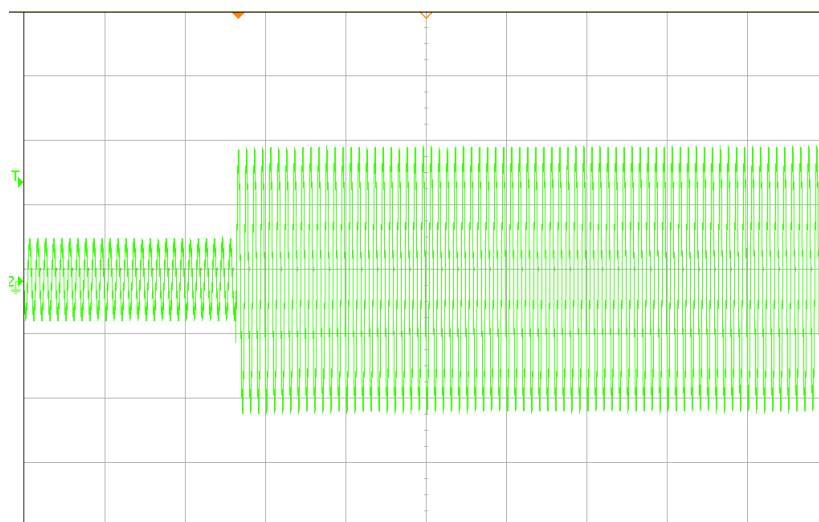
Nastavení hodnoty, na kterou se bude skákat z aktuální hodnoty

Nastavení napěťového modu

Nastavení doby zpoždění triggrování

Zapnutí okamžitého triggrování

Stisknutím *Shift Trigger* se zpustí nastavený program



Obr. 14 – průběh zpožděného triggrovaní, osa x 200 ms/d, osa y 50 V/d

### Fázová synchronizace

Základní napětí je nastaveno na 30 V, skok napětí je nastaven na 120 V, fázové zpoždění je nastaveno na 120°.

Stisknutím klávesy *Voltage* se vstoupí do napěťového menu, kde se nastaví aktuální hodnota a poté se nastaví hodnota, na kterou výstup zdroje skočí z aktuální hodnoty. Dále se nastaví napěťový mód. Po stisknutí *Trigger control*, je v menu triggrovaní, nastavena fázová synchronizace a úhel zpoždění. Nakonec se zapne okamžité triggrovaní.

#### Displej

*VOLT 30*

*VOLT:T 120*

*VOLT:M STEP*

*DELAY 0*

*SYNC:SOURPHASE*

*SYNC:PHAS 120*

*INIT:IMMED*

*120 V 50 Hz*

#### Poznámka

Nastavení aktuální hodnoty

Nastavení hodnoty, na kterou se bude skákat z aktuální hodnoty

Nastavení napěťového modu

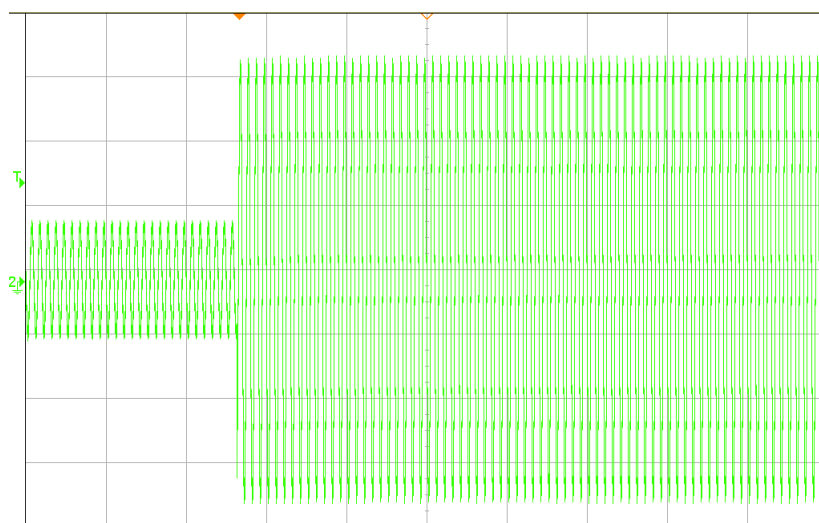
Nastavení doby zpoždění triggrovaní

Aktivování fázové synchronizace

Nastaveny úhel zpoždění

Zapnutí okamžitého triggrovaní

Stisknutím *Shift Trigger* se spustí nastavený program



Obr. 15 – průběh zpožděného triggrování, osa x 200 ms/d, osa y 50 V/d

### 2.8.8 Nastavení rychlosti přeběhu

Jsou různé mody jak, pomocí kterých jde nastavit rychlost přeběhu:

- FIXED** Rychlost přeběhu nastane při jakékoliv změně napětí
- STEP** Rychlost přeběhu nastane při nadefinované změně napětí

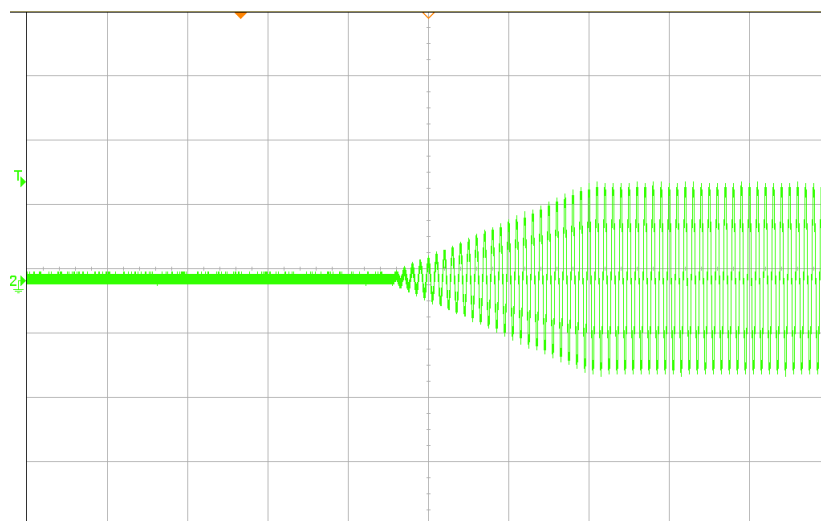
#### **FIXED**

Změna napětí proběhne z 0 V na 50 V, doba přeběhu byla nastavena na 50 V/s.

V napěťovém menu, které se spustí pomocí klávesy *Voltage*, se nastaví napěťový mód a doba přeběhu. Poté se provede změna napětí.

Displej	Poznámka
<i>VOLT:M FIXED</i>	Nastavení napěťového modu
<i>SLEW 50</i>	Nastavení doby přeběhu
<i>VOLT 0</i>	Nastavení napětí
<i>VOLT 50</i>	Nastavena změna napětí





Obr. 16 – průběh rychlosti přeběhu, ve fixním modu, osa x 200 ms/d, osa y 50 V/d

## STEP

Změna napětí proběhne ze 100 V na 50 V, doba přeběhu byla nastavena na 50 V/s.

V napěťovém menu, které se spustí pomocí klávesy *Voltage*, se nastaví aktuální hodnota napětí a hodnota napětí na které se po přeběhu dosáhne. Poté se nastaví mód rychlosti přeběhu a doba přeběhu. Nakonec se zapne okamžité triggrování.

### Displej

*VOLT 100*

*VOLT:T 50*

*SLEW:M STEP*

*SLEW: 9.9+E37*

*SLEW:T 50*

*INIT:IMMED*

*50 V 50 Hz*

### Poznámka

Nastavení aktuálního napětí

Nastavení hodnoty napětí, na kterou se zdroj dostane po dokončení přeběhu

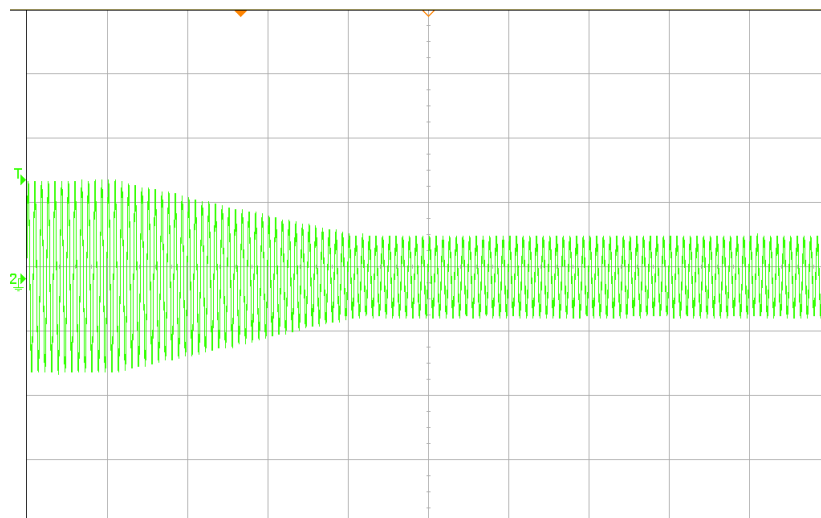
Nastavení modu přeběhu

Nastavení doby přeběhu, na hodnotu rovnou nekonečnu

Nastavení triggrovací doby přeběhu

Zapnutí okamžitého trigrování

Stisknutím *Shift Trigger* se zpustí nastavený program



Obr. 17 – průběh rychlosti přeběhu v step modu, osa x 200 ms/d, osa y 50 V/d

## 2.8.9 Nastavení GPIB a RS-232

V tomto příkladu je ukázáno, jak se nastavuje GPIB a RS-232 rozhraní.

### GPIB

Adresa GPIB je nastavena na 6

Stisknutím klávesy *Address* se vstoupí do menu rozhraní, nejdříve se vybere rozhraní a poté nastaví jeho adresa.

#### Displej

*INTF GPIB*  
*ADDRESS 6*

#### Poznámka

Výběr rozhraní  
Nastavení adresy

### RS-232

Rychlost přenosu je nastavena na 9600 baudu a parita na None

Stisknutím klávesy *Address* se vstoupí do menu rozhraní, nejdříve se vybere rozhraní a poté se nastaví rychlost přenosu a parita.

#### Displej

*INFT RS232*  
*BAUDRATE 9600*  
*PARITY NONE*

#### Poznámka

Výběr rozhraní  
Nastavení rychlosti přenosu  
Nastavení parity

## 2.8.10 Ukládání a načtení provozních stavů

V tom to příkladu je ukázka práce s uloženými provozními stavy přístroje.

### Ukládání provozních stavů

Provozní stav je uložen pod č. 5

Nejdříve se vytvoří provozní stav, který budu uložen. Poté se tento provozní stav uloží pomocí stisknutí kláves *Shift Save* a čísla pod který chceme provozní stav uložit.

#### Displej

\*SAV 5

#### Poznámka

Provozní stav je uložen pod číslem 5

### Načtení provozních stavů

Je načten provozní stav č. 3

Pomocí stisknutí kláves *Recall* a čísla pod který je uložen provozní stav.

#### Displej

\*RCL 3

#### Poznámka

Provozní stav č. 3, je načten

### Volba provozního stavu

Může být vybrán přednastavený provozní stav přístroje nebo vytvořeny provozní stav, v tomto případě je vybrán přednastavený provozní stav.

V menu výstupu, které se spustí stisknutím kláves *Shift Output*, se vybere provozní stav přístroje

#### Displej

PON:STATE RST

#### Poznámka

Výběr provozního stavu přístroje

### Smazání vytvořených provozních stavů

Provozní stav č. 1 je smazán

Stisknutím kláves *Shift Output*, se dostaneme do menu výstupu, kde se v příslušné části smaže provozní stav pomocí stisknutí kláves *Shift Save* a příslušné číslo provozního stavu.

#### Displej

\*RST

\*SAV 1

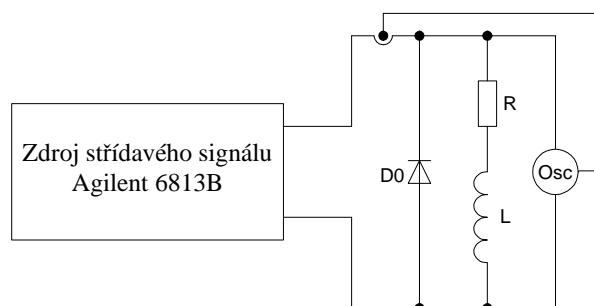
#### Poznámka

Výběr části pro smazání provozních stavů

Smazání příslušného provozního stavu

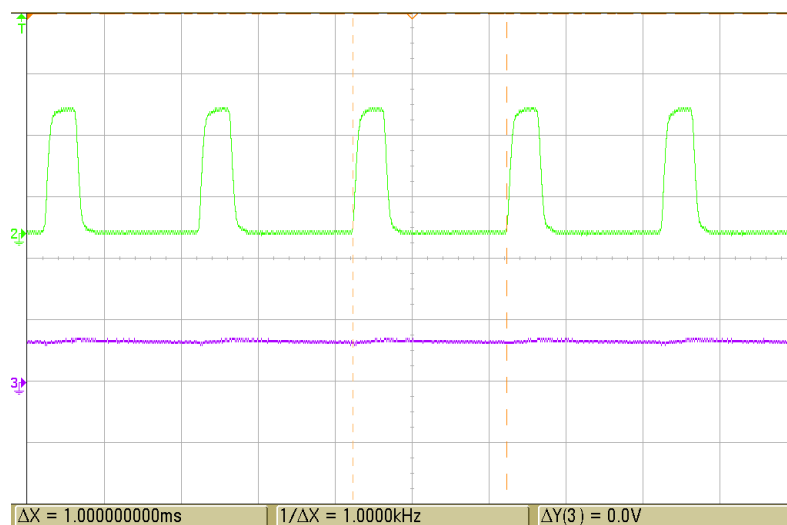
### 2.8.11 Simulace pulzního snižujícího měniče

Pomocí programu ACSourcesUI byl vytvořen průběh pulzního snižujícího měniče, funkce byla poté odměřena na RL zátěži s nulovou diodou, jak je vidět na schéma zapojení obr. 18.



Obr. 18 – schéma zapojení otestování simulace pulzního měniče

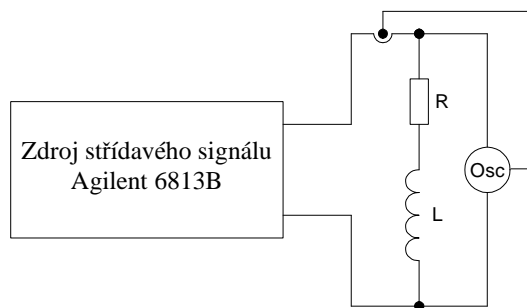
Vytvoření napěťového signálu, odpovídajícího pulznímu snižujícímu měniči. Frekvence byla nastavena na 1000 Hz, napětí na 20 V a poměrná doba zapnutí 1/4.



Obr. 19 – průběh napětí a proudu při simulaci střídače, zelená – napětí, fialová – proud, osa x 5 ms/d, osa y zelená 20 V/d, osa y fialová 100 mV/d

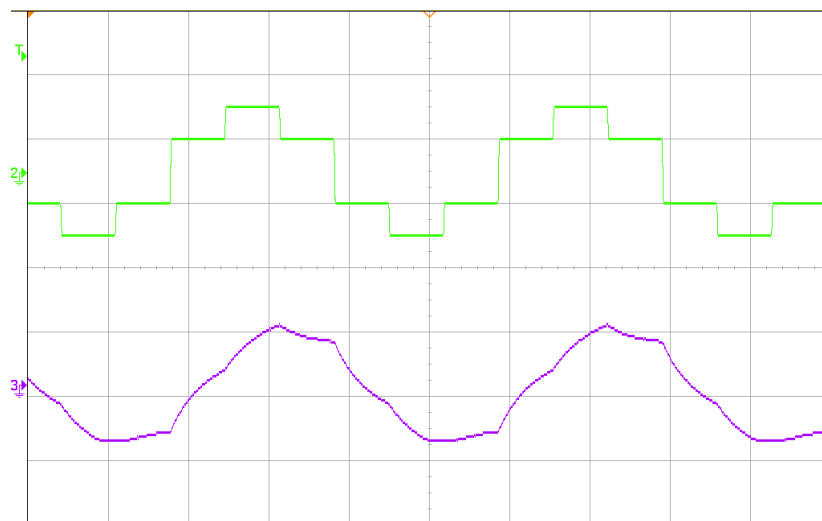
### 2.8.12 Simulace střídače při 120° řízení

Pomocí programu ACSourcesUI byl vytvořen průběh střídače se 120° řízením, funkce byla poté odměřena na RL zátěži, schéma zapojení je na obr. 20.



Obr. 20 – schéma zapojení otestování simulace střídače při  $120^\circ$  řízení

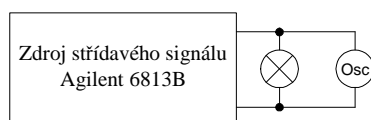
Vytvoření napětového signálu, odpovídajícího střídači se  $120^\circ$  řízením.  
Frekvence byla nastavena na 50 Hz, napětí na 25 V.



Obr. 21 – průběh napětí a proudu při simulaci střídače, zelená – napětí, fialová – proud,  
osa x 5 ms/d, osa y zelená 20 V/d, osa x fialová 100 mV/d

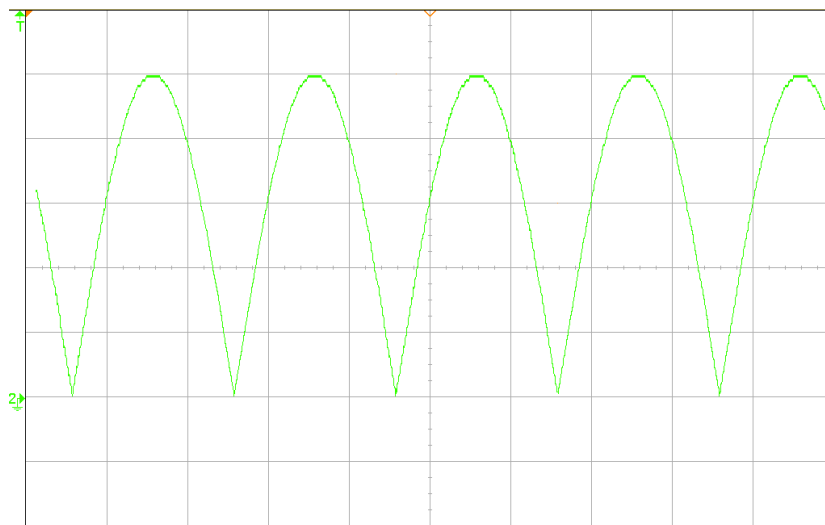
### 2.8.13 Simulace dvou pulzního usměrňovače

Pomocí programu ACSourcesUI byl vytvořen průběh dvou pulzního usměrňovače, jako zátěž byla připojena žárovka, jak jde vidět ze schématu zapojení na obr. 22.



Obr. 22 – schéma zapojení otestování simulace dvou pulzního usměrňovače

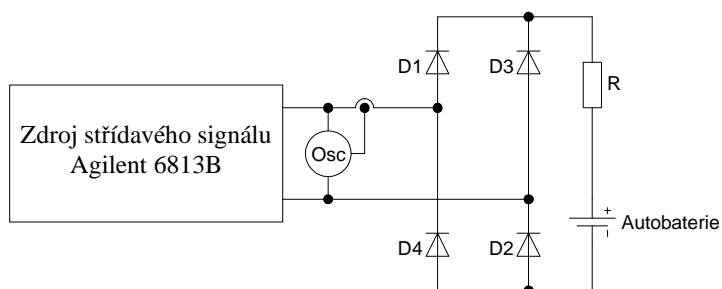
Vytvoření napěťového signálu, odpovídajícího dvou pulznímu usměrňovači  
Frekvence byla nastavena na 50 Hz, napětí na 100 V.



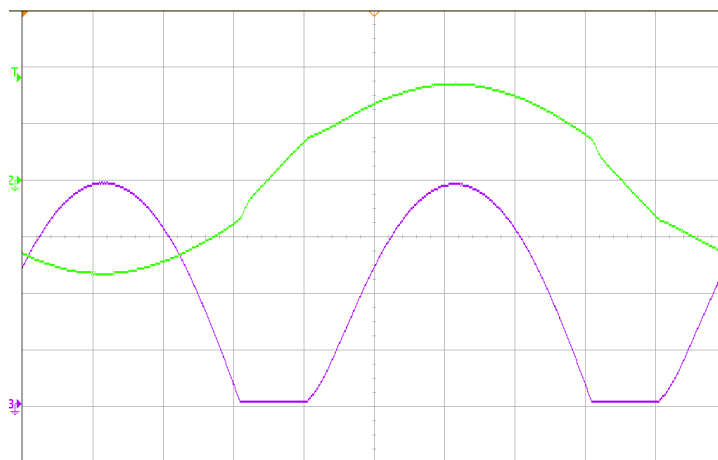
Obr. 23 – průběh napětí při simulaci dvou pulzního usměrňovače,  
osa x 5 ms/d, osa y 20 V/d

#### 2.8.14 Testování nastavitelné výstupní impedance zdroje

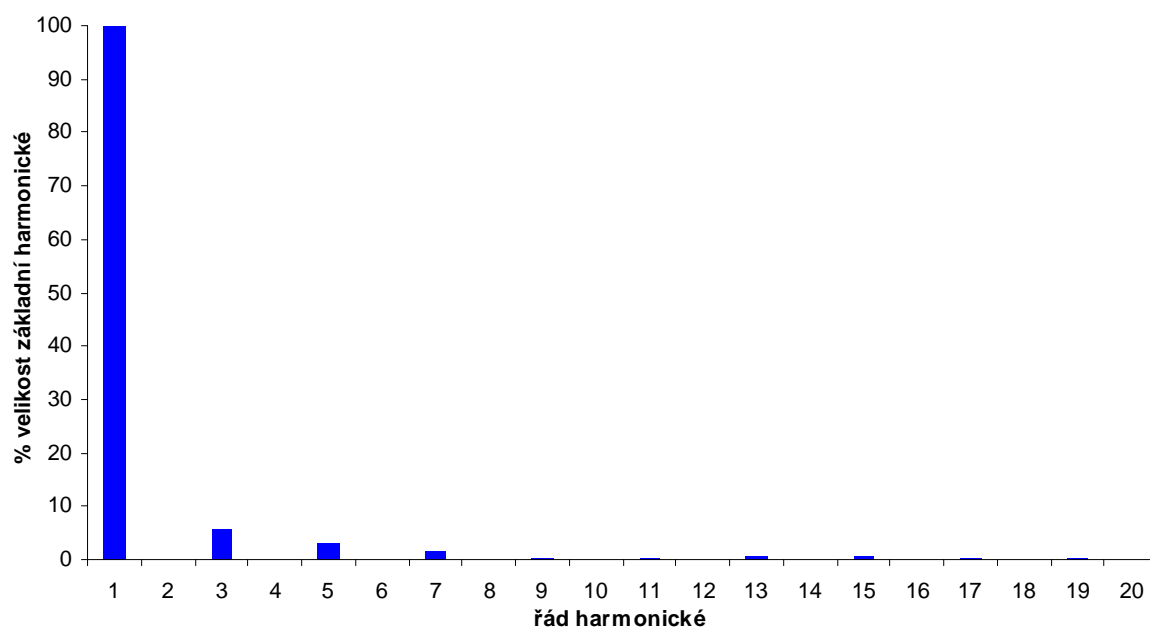
Zdroj má nastavitelnou výstupní odporovou reaktanci v rozmezí 0 až 1 ohm a indukčnost v rozmezí 0 až 1 mH. Výstupní impedance byla testována na dvou pulzním usměrňovači, který měl na zátěži připojený odpor a autobaterii, schéma zapojení je na obr. 24. Velikost odporové reaktance byla nastavena na 1 ohm a indukčnost byla nastavena na 1 mH, efektivní hodnota napětí na 25 V a frekvence na 50 Hz.



Obr. 24 – schéma zapojení otestování nastavitelné výstupní impedance



Obr. 25 – průběh napětí a proudu, na výstupních svorkách zdroje, zelená – napětí, fialová – proud, osa x 2 ms/d, osa y zelená 20 V/d, osa x fialová 200 mV/d



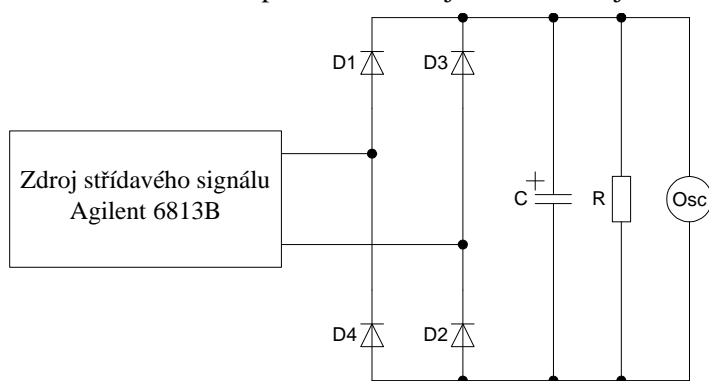
Obr. 26 – obsah napět'ových harmonických

### 3. Měření na konkrétních zařízeních

V této kapitole je provedeno měření se střídavým zdrojem a usměrňovačem, řízeným usměrňovačem, UPS-kou, zářivkou a s jednofázovým střídačem.

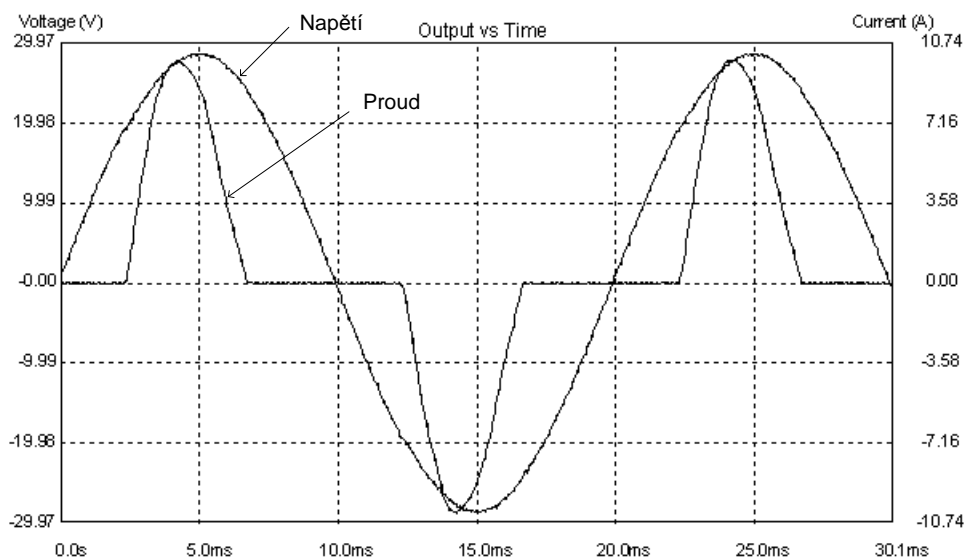
### 3.1 Usměrňovač

Na výstup zdroje byl připojen dvou pulzní usměrňovač, na který byla připojena kondenzátorová baterie. Zátěž usměrňovače tvořil odpor. Na následujícím obrázku je schéma zapojení měření.



Obr. 27 – schéma zapojení dvou pulzního usměrňovače

Na zdroji střídavého signálu bylo nastaveno efektivní napětí o hodnotě 20 V a frekvenci 50 Hz. Tvar výstupního napětí a proudu ze zdroje střídavého signálu je na obr. 28.



Obr. 28 – výstupní napětí a proud ze zdroje

Naměřené hodnoty, odebírané dvou pulzním usměrňovačem s RC zátěží:

$$U_{\text{RMS}} = 19,987 \text{ V}$$

$$I_{\text{RMS}} = 4,605 \text{ A}$$

$$S = 92,054 \text{ VA}$$

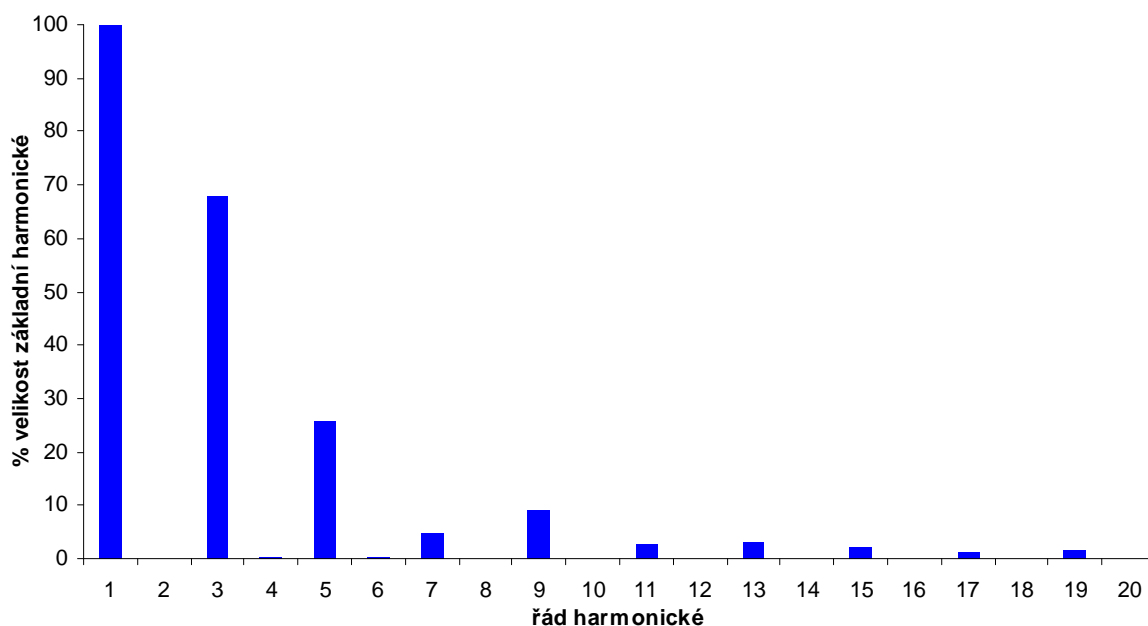
$$P = 72,108 \text{ W}$$

$$Q = 57,224 \text{ var}$$

$$\lambda = 0,783$$



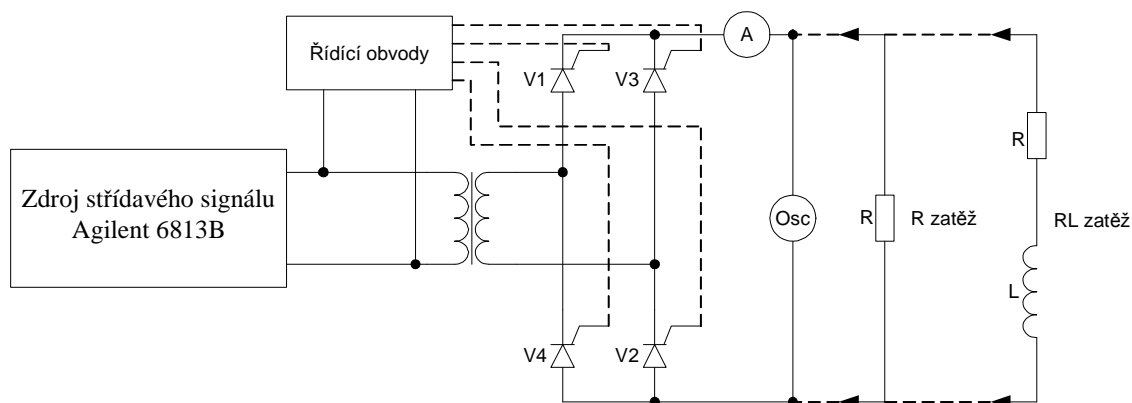
Na dalším obrázku je spektrum proudu, které odebírá dvou pulzní usměrňovač s RC zátěží z napájecí sítě.



Obr. 29 – obsah proudových harmonických

### 3.2 Řízený usměrňovač

Měření probíhalo na dvou pulzním řízeném usměrňovači, který byl napájen ze zdroje střídavého signálu, včetně jeho řídicích obvodů. Vstupní signál řízeného usměrňovače byl přiveden ze zdroje střídavého signálu přes transformátor. Zátěž řízeného usměrňovače byla nejprve odporová a poté induktivní s odporovou. Na obr. 30 je schéma zapojení pro obě možnosti zátěže R a RL.

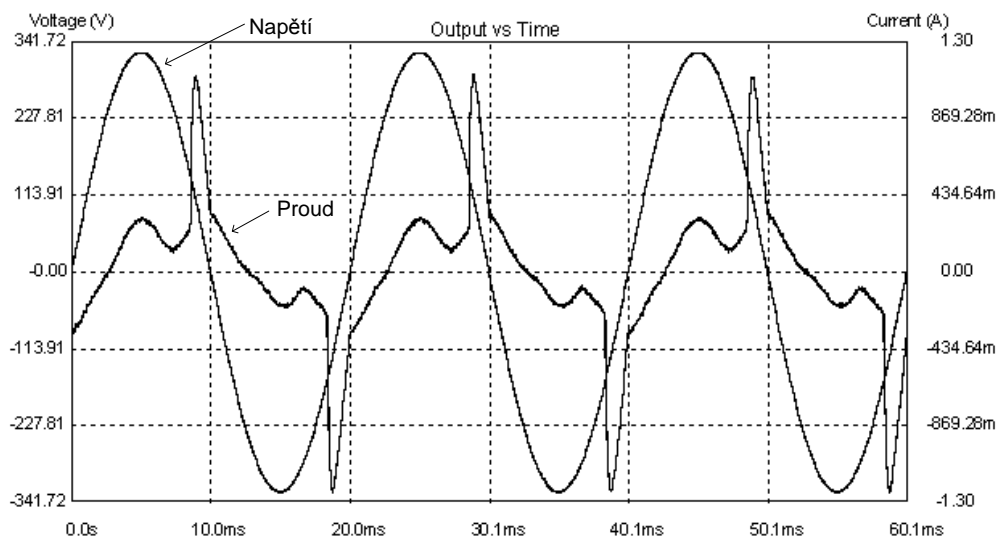


Obr. 30 – schéma zapojení s řízeným usměrňovačem

Na zdroji střídavého signálu bylo nastaveno efektivní napětí o hodnotě 230 V a frekvenci 50 Hz.

### 3.2.1 Řízený usměrňovač s odporovou zátěží

Na zdroji střídavého signálu bylo nastaveno efektivní napětí o hodnotě 230 V a frekvenci 50 Hz. Řídící uhel byl nastaven na 117 °. Tvar výstupního napětí a proudu ze zdroje střídavého signálu je na obr. 31.



Obr. 31 – výstupní napětí a proud ze zdroje

Naměřené hodnoty, odebírané dvou pulzním řízeným usměrňovačem s R zátěží:

$$U_{\text{RMS}} = 230,012 \text{ V}$$

$$I_{\text{RMS}} = 386,259 \text{ mA}$$

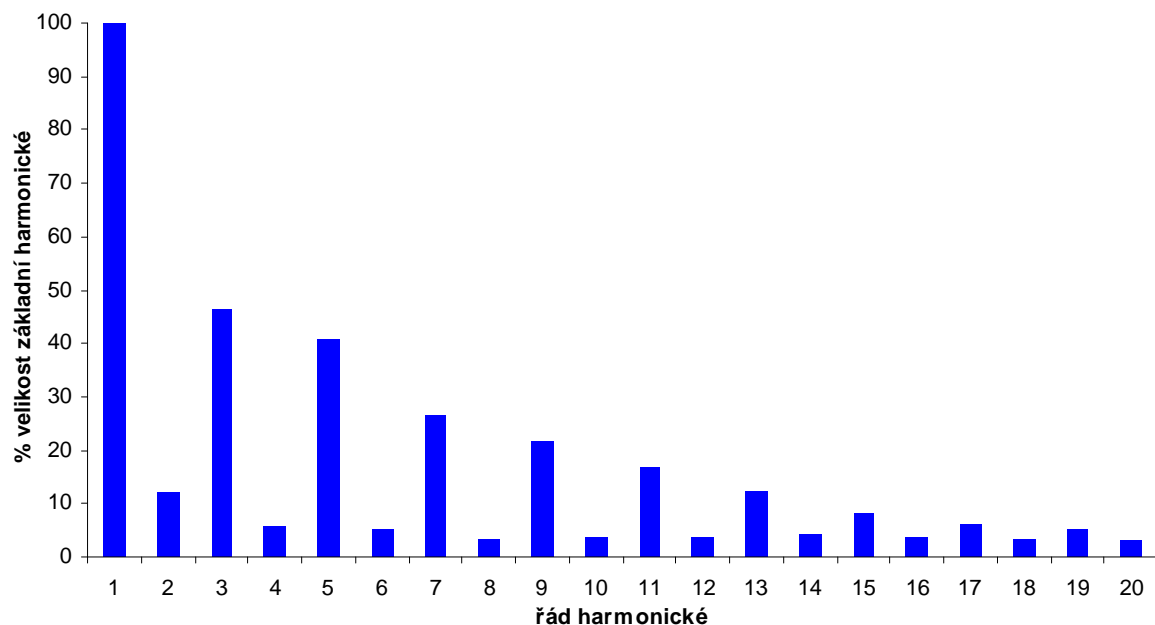
$$S = 88,855 \text{ VA}$$

$$P = 33,984 \text{ W}$$

$$Q = 82,1 \text{ var}$$

$$\lambda = 0,382$$

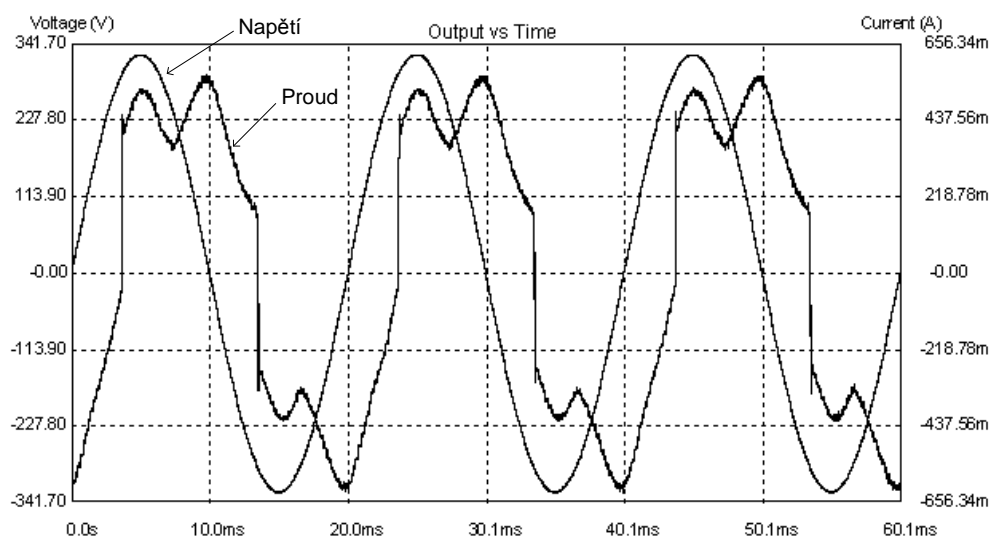
Na dalším obrázku je spektrum proudu, které odebírá dvou pulzní řízený usměrňovač s R zátěží z napájecí sítě.



Obr. 32 – obsah proudových harmonických

### 3.2.2 Řízený usměrňovač s odporově induktivní zátěží

Na zdroji střídavého signálu bylo nastaveno efektivní napětí o hodnotě 230 V a frekvenci 50 Hz. Řídící uhel byl nastaven na 54 °. Tvar výstupního napětí a proudu ze zdroje střídavého signálu je na obr. 33.



Obr. 33 – výstupní napětí a proud ze zdroje

Naměřené hodnoty, odebírané dvou pulzním řízeným usměrňovačem s RL zátěží:

$$U_{\text{RMS}} = 230,012 \text{ V}$$

$$I_{\text{RMS}} = 425,581 \text{ mA}$$

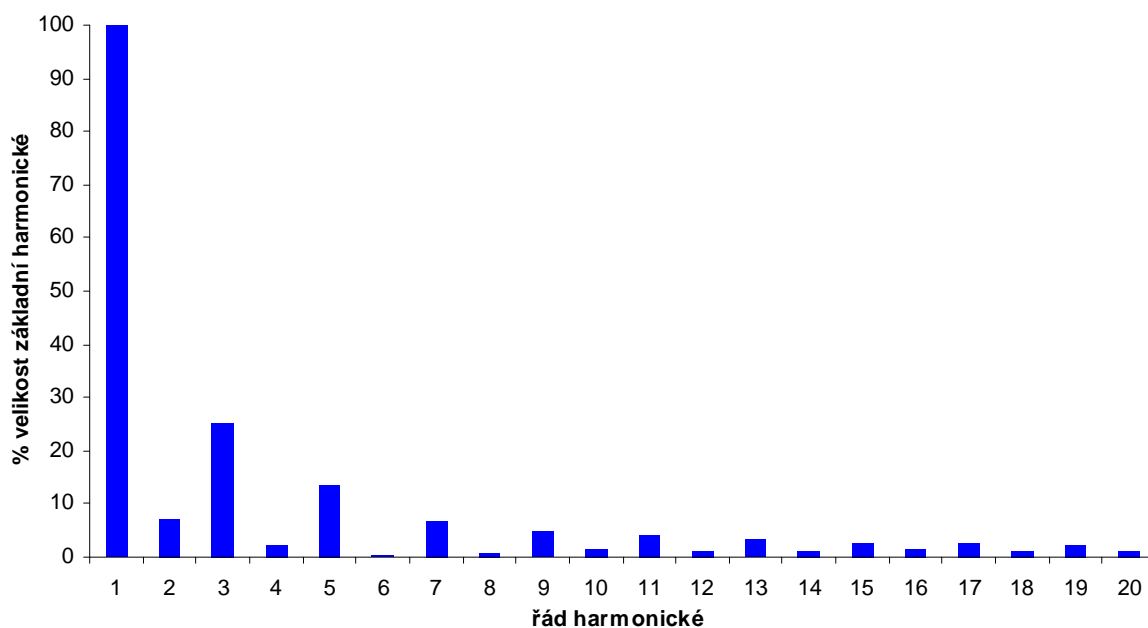
$$S = 97,897 \text{ VA}$$

$$P = 46,542 \text{ W}$$

$$Q = 86,126 \text{ var}$$

$$\lambda = 0,475$$

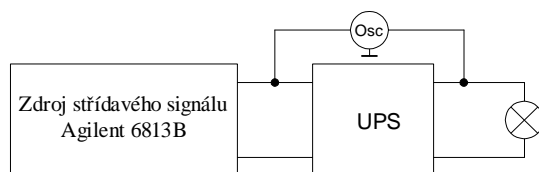
Na dalším obrázku je spektrum proudu, které odebírá dvou pulzní řízený usměrňovač s RL zátěží z napájecí sítě.



Obr. 34 – obsah proudových harmonických

### 3.3 UPS

Náplní měření bylo zkoumání reakce UPS na chyby v signálu, tyto chyby byly vytvořeny pomocí zdroje střídavého signálu. UPS byla připojena ke zdroji střídavého signálu, na výstupu střídavého zdroje a na výstupu UPS byly připojeny napěťové sondy osciloskopu, zátěž UPS tvořila 25 W žárovka, schéma zapojení je na obr. 35.

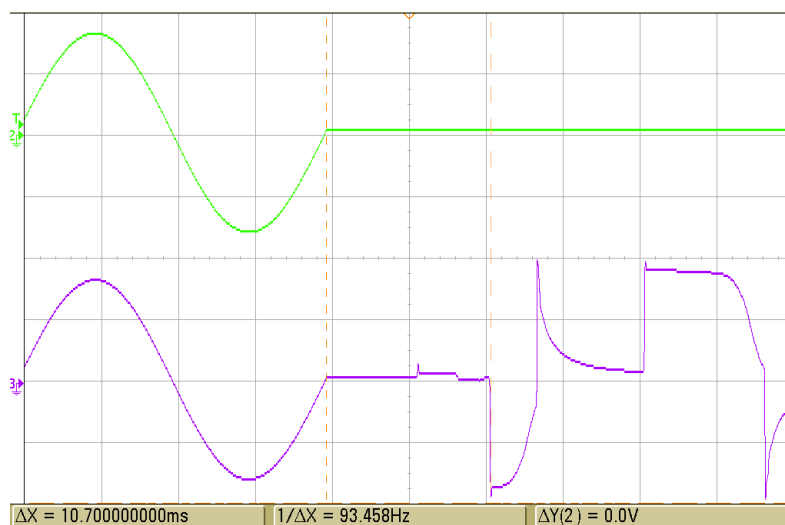


Obr. 35 – schéma zapojení s UPS

Pro všechny měření na UPS platí, že zelený signál je výstupní signál ze střídavého zdroje a fialový je výstupní signál z UPS.

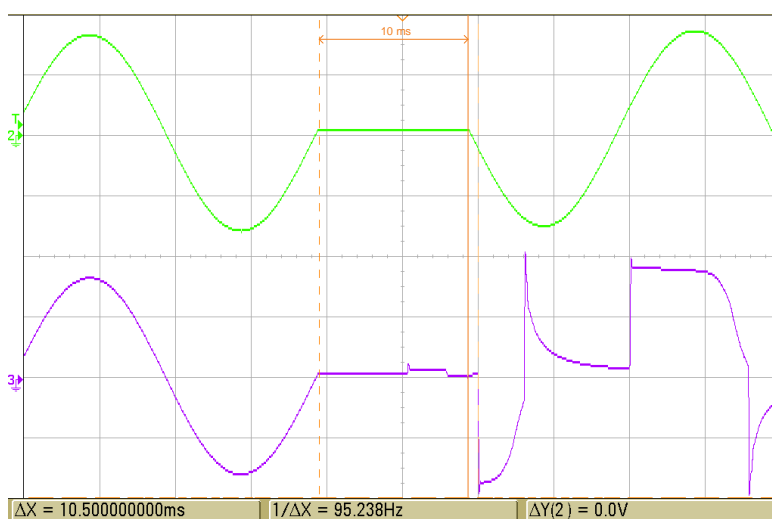
### 3.3.1 Přerušení signálu napětí

Na zdroji bylo nastaveno přerušení napětí. Doba přerušení byla nastavována v různých časových intervalech. Nejprve byla doba přerušení nastavena na 100 ms, průběh přerušení a odezvy UPS je na obr. 36.



Obr. 36 – odezva UPS na 100 ms přerušení napětí, osa x 5 ms/d, osa y 200 V/d

Pomocí osciloskopu byla odečtena doba odezvy 10,7 ms. Na dalším obrázku byla doba přerušení nastavena na 10 ms, tedy jednu půlperiodu.

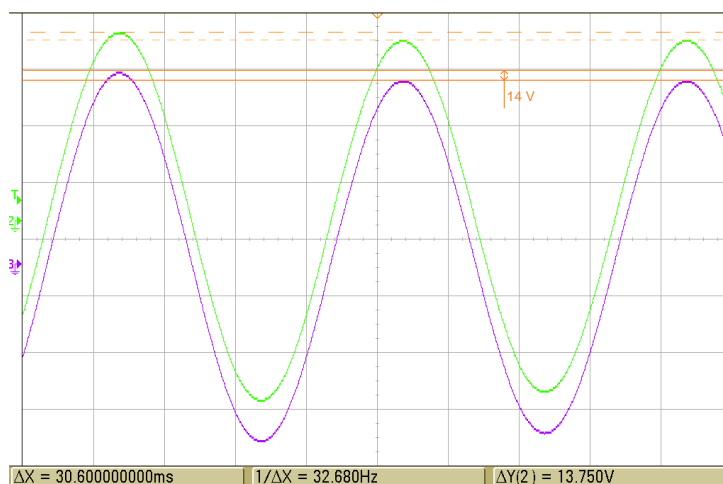


Obr. 37 – odezva UPS na 10 ms přerušení napětí, osa x 5 ms/d, osa y 200 V/d

Odezva UPS přišla po 10,5 ms, UPS sice zareagovala na přerušení napětí, ale dodávka napětí přišla v době, kdy bylo vstupní napětí obnoveno. V příloze č. 5 jsou dále umístěny průběhy, s přerušením 20 ms, 5 ms a přerušením 100 ms kde je ukázáno celé přerušení.

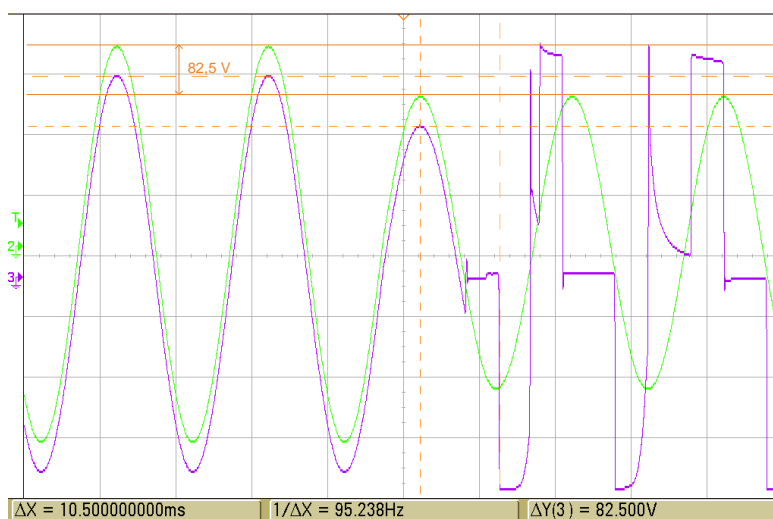
### 3.3.2 Pokles signálu napětí

Na zdroji, byl nastaven pokles efektivního napětí a byla zkoumána odezva UPS. Doba poklesu napětí byla nastavena na 1 sekundu, hodnota efektivního napětí byla snižována po 10 voltech, až po hodnotu kdy UPS zareagovala na pokles, na této hodnotě byli dále proměřeny různé doby poklesu napětí.



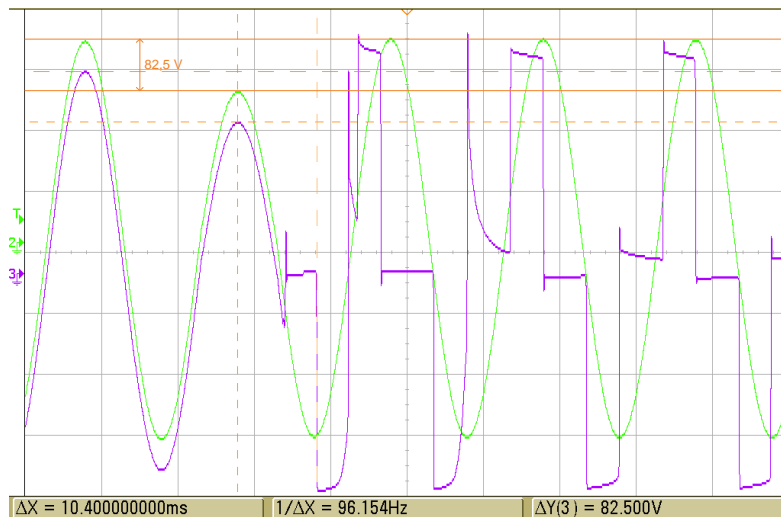
Obr. 38 – odezva UPS na 10 V pokles napětí, osa x 5 ms/d, osa 100 V/d

Jak je vidět z obr. 38 UPS i po poklesu napětí, dál kopíruje vstupní signál. V příloze č. 6 jsou průběhy pro poklesy napětí o 20, 30, 40 a 50 V, kde UPS nijak nereagovala a jen kopírovala vstupní signál, což odpovídá specifikacím UPS. Při poklesu napětí o 60 V UPS přebírala napájení zátěže jak je vidět s obr. 39.



Obr. 39 – odezva UPS na 60 V pokles napětí, osa x 10 ms/d, osa 100 V/d

Na obr. 40 je doba poklesu 10 ms, jelikož UPS zareaguje až po 10,4 ms, tak už nestihne pokrýt pokles napětí.

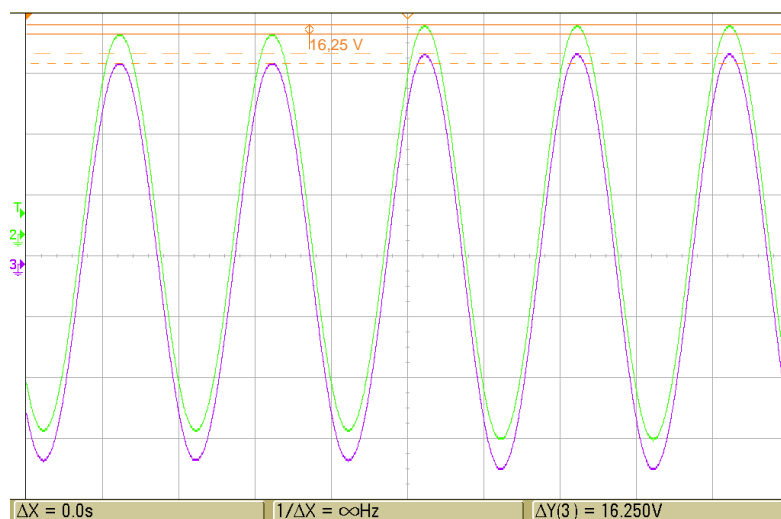


Obr. 40 – odezva UPS na 60 V pokles napětí, osa x 10 ms/d, osa 100 V/d

V příloze jsou průběhy, kdy je doba přerušení nastavena na 50, 20 a 5 ms.

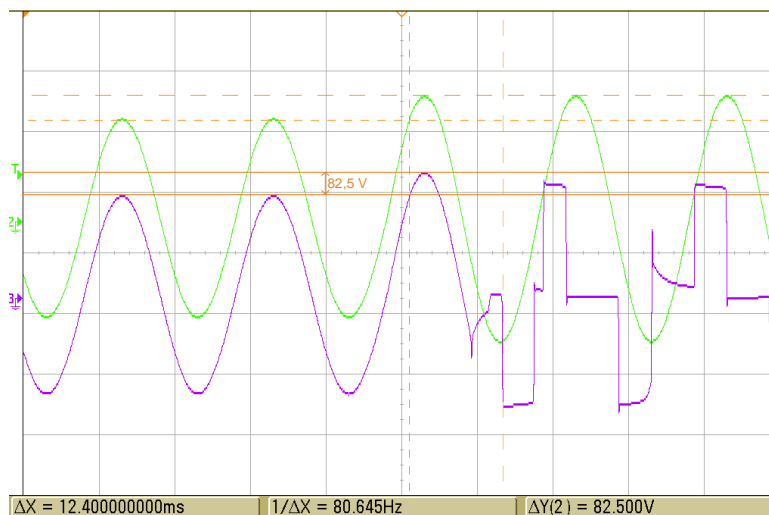
### 3.3.3 Zvýšení napětí

Na zdroji, bylo nastaveno zvýšené efektivní napětí a byla zkoumána odezva UPS. Doba zvýšení napětí byla nastavena na 1 sekundu, hodnota efektivního napětí byla zvýšená o 10 voltů, až po hodnotu kdy UPS zareagovala na pokles, na této hodnotě byli dále proměřeny různé doby poklesu napětí.



Obr. 41 – odezva UPS na 10 V zvýšení napětí, osa x 10 ms/d, osa 100 V/d

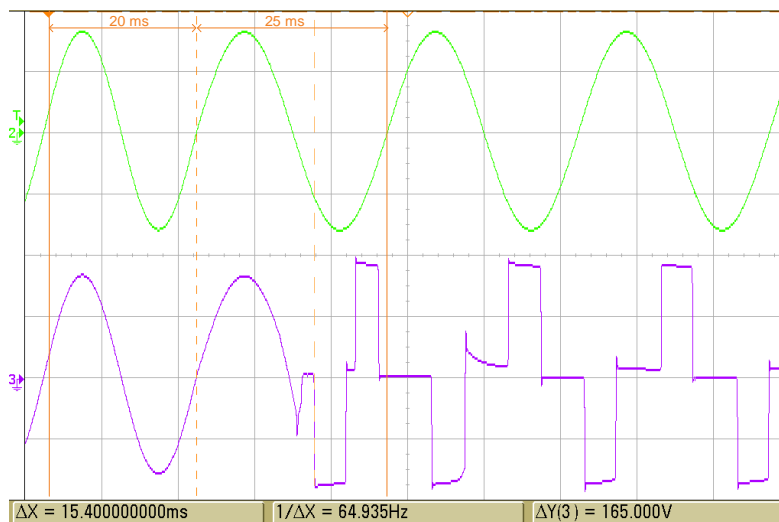
Jak je vidět z obr. 41 UPS po zvýšení napětí, dál kopíruje vstupní signál. V příloze č. 7 jsou průběhy pro zvýšení napětí o 20, 30, 40, 50 V, kde UPS nijak nereagovala a jen kopírovala vstupní signál, což odpovídá specifikacím UPS. Při zvýšení napětí o 55 V, UPS přebírala napájení zátěže jak je vidět s obr. 42.



Obr. 42 – odezva UPS na 55 V zvýšení napětí, osa x 10 ms/d, osa 200 V/d

### 3.3.4 Snížení frekvence

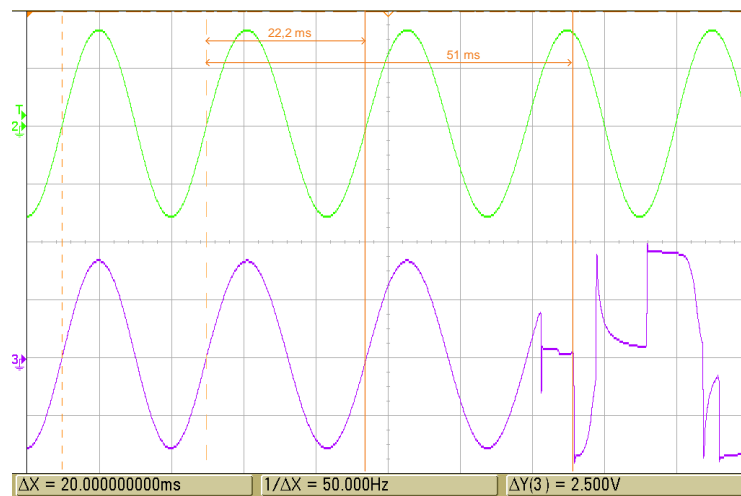
Na zdroji, byla nastavena nižší frekvence napětí a byla zkoumána odezva UPS. Doba nižší frekvence napětí byla nastavena na 1 sekundu, frekvence napětí byla snížena o 10 Hz.



Obr. 43 – odezva UPS na 10 Hz snížení frekvence napětí, osa x 10 ms/d, osa 200 V/d

Doba odezvy UPS na sníženou frekvenci napětí o 10 Hz je 15,4 ms. Na obr. 44 je frekvence snížena o 5 Hz, doba odezvy je v tomto případě 51 ms.

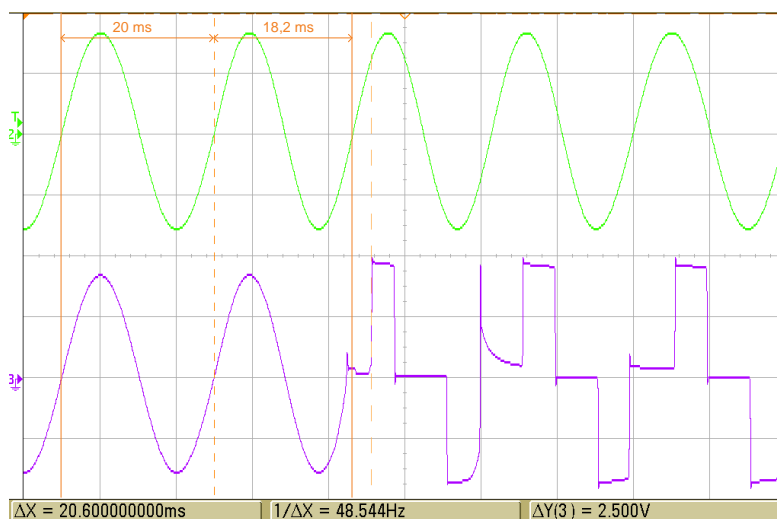




Obr. 44 – odezva UPS na 5 Hz snížení frekvence napětí, osa x 10 ms/d, osa 200 V/d

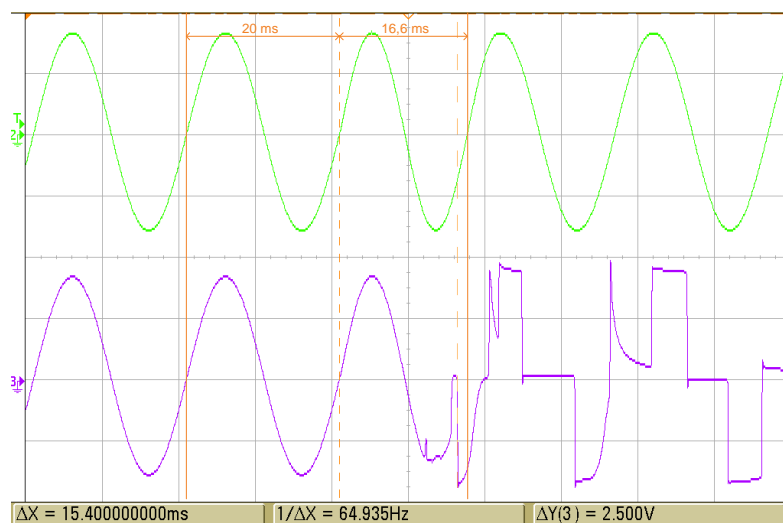
### 3.3.5 Zvýšení frekvence

Na zdroji, byla nastavena vyšší frekvence napětí a byla zkoumána odezva UPS. Doba vyšší frekvence napětí byla nastavena na 60 ms, frekvence napětí byla zvýšená o 5 Hz.



Obr. 45 – odezva UPS na zvýšení frekvence napětí o 5 Hz, osa x 10 ms/d, osa 200 V/d

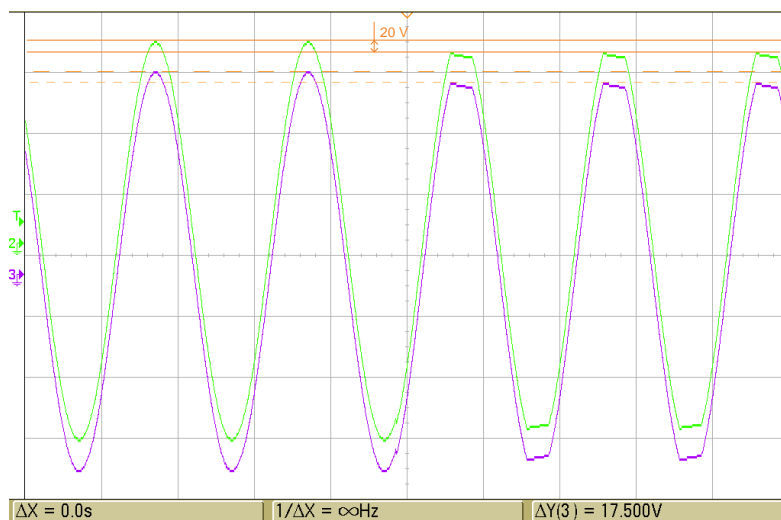
Doba odezvy UPS na zvýšenou frekvenci napětí o 5 Hz je 20,6 ms. V dalším měření byla frekvence zvýšena o 10 Hz a doba odezvy UPS byla 15,4 ms, jak je vidět na obr. 46.



Obr. 46 – odezva UPS na zvýšení frekvence napětí o 10 Hz, osa x 10 ms/d, osa 200 V/d

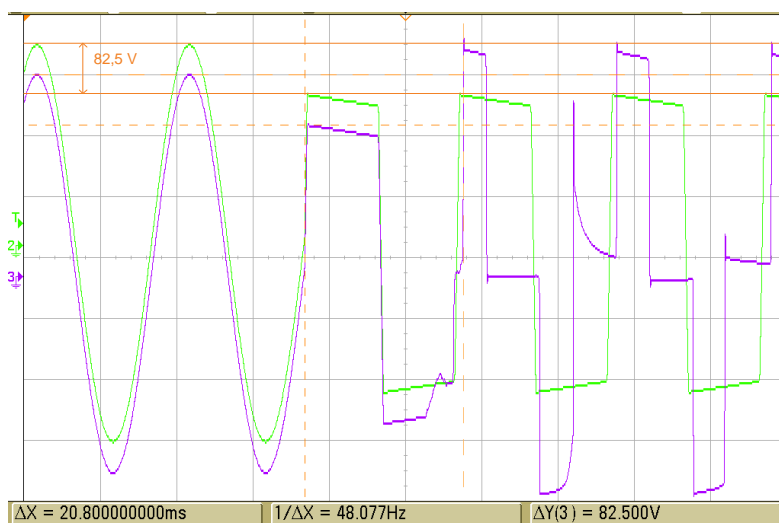
### 3.3.6 Ořezání signálu

Na zdroji, bylo nastaveno ořezání efektivního napětí a byla zkoumána odezva UPS. Doba ořezání napětí byla nastavena na 1 sekundu, hodnota ořezání efektivního napětí byla snižována po 10 procentech, až po hodnotu kdy UPS zareagovala na ořezání.



Obr. 47 – odezva UPS na ořezání napětí o 10 %, osa x 10 ms/d, osa 100 V/d

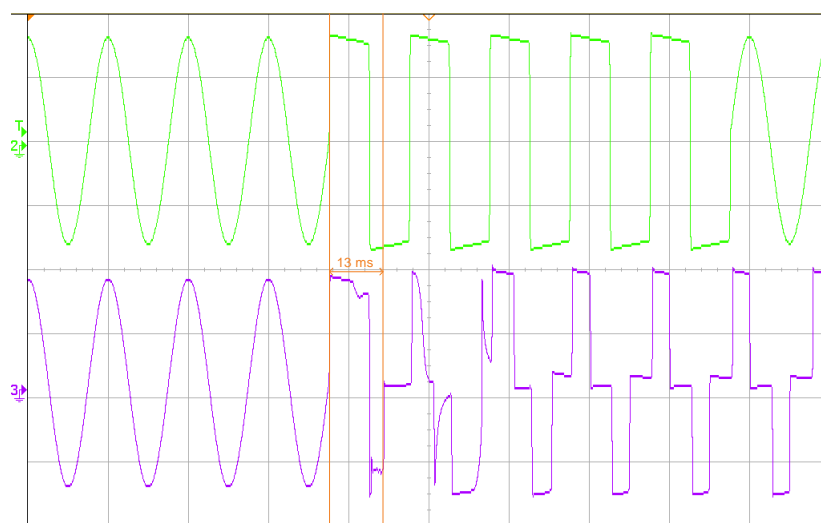
Jak je vidět z obr. 47 UPS i po poklesu napětí, dál kopíruje vstupní signál. V příloze č. 8 jsou průběhy pro poklesy napětí o 20, 30, 40 a 50 %, kde UPS nijak nereagovala a jen kopírovala vstupní signál, což odpovídá specifikacím UPS. Při ořezání napětí o 60 % UPS přebírala napájení zátěže jak je vidět s obr. 48.



Obr. 48 – odezva UPS na ořezání napětí o 60 %, osa x 10 ms/d, osa 100 V/d

### 3.3.7 Reakce na obdélníkový signál

Na zdroji, byl nastaven obdélníkový signál a na výstupu UPS byla zkoumána odezva. Reakce UPS přišla po 10,5 ms.



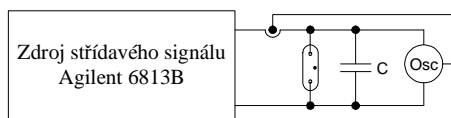
Obr. 49 – odezva UPS na obdélníkový signál, osa x 20 ms/d, osa 200 V/d

### 3.4 Měření na zářivce

V této části bude proměřena zářivka. První částí bude proměřena s připojeným kondenzátorem v druhé bez připojeného kondenzátoru a ve třetí s předřadníkem.

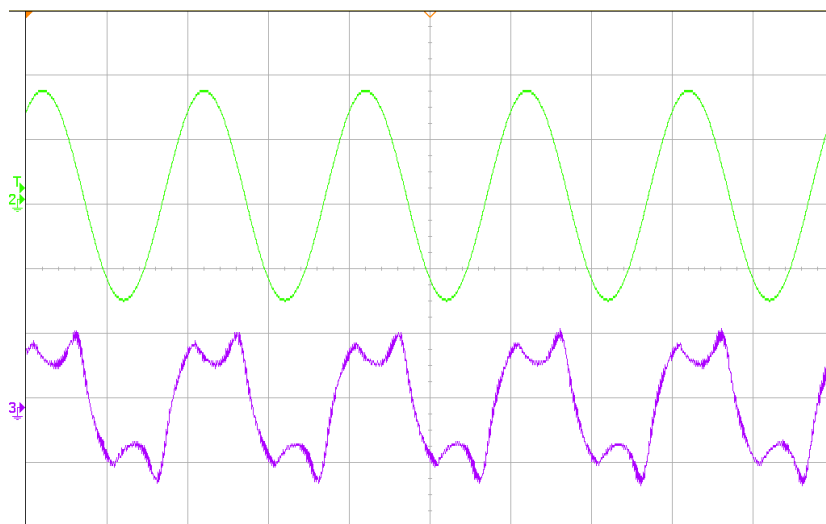
### 3.4.1 Zářivka s připojeným kondenzátorem

V tomto měření je proměřována s připojeným kondenzátorem, žárovka je připojena na výstup zdroje, na kterém byla nastavena efektivní hodnota napětí na 230 V a frekvence na 50 Hz. Schéma zapojení je na obr. 50.



Obr. 50 – schéma zapojení měření žárovky s připojeným kondenzátorem

Na obr. 51 je průběh napětí a proudu odebíraného ze zdroje.



Obr. 51 – průběh napětí a proudu, na výstupních svorkách zdroje, zelená – napětí, fialová – proud, osa x 10 ms/d, osa y zelená 200 V/d, osa x fialová 20 mV/d

Naměřené hodnoty, odebírané žárovkou s připojeným kondenzátorem:

$$\text{THD}_I = 38,98 \%$$

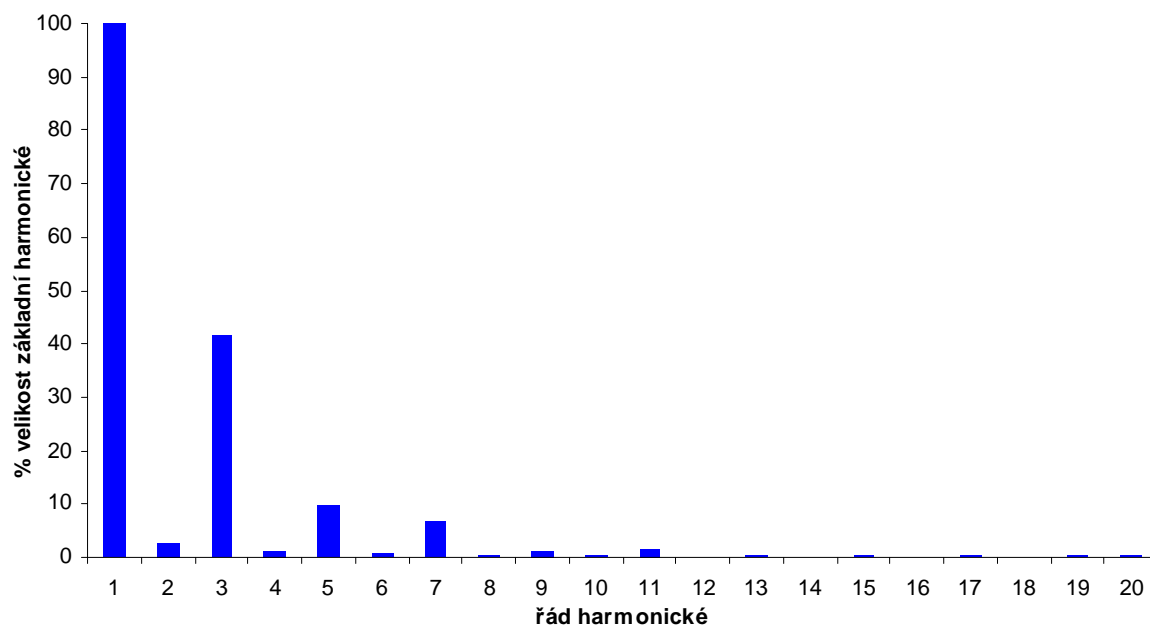
$$S = 34,639 \text{ VA}$$

$$P = 29,826 \text{ W}$$

$$Q = 17,613 \text{ var}$$

$$\lambda = 0,861$$

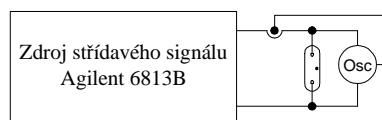
Na obr. 52 je spektrum proudu, odebírané žárovkou s připojeným kondenzátorem.



Obr. 52 – obsah proudových harmonických

### 3.4.2 Zářivka bez připojeného kondenzátoru

V tomto měření je proměřována bez připojeného kondenzátoru, zářivka je připojena na výstup zdroje, na kterém byla nastavena efektivní hodnota napětí na 230 V a frekvence na 50 Hz. Schéma zapojení je na obr. 53.



Obr. 53 – schéma zapojení měření zářivky bez připojeného kondenzátoru

Naměřené hodnoty, odebírané zářivkou bez připojeného kondenzátoru:

$$\text{THD}_I = 13,1 \%$$

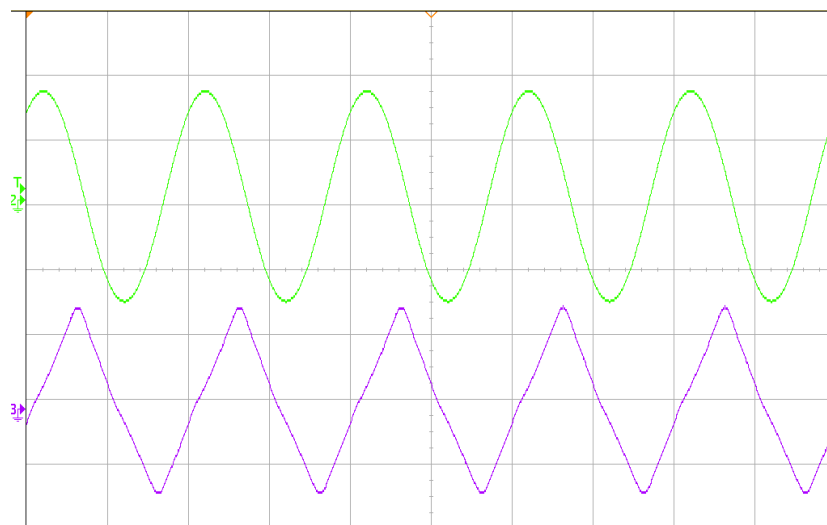
$$S = 98,631 \text{ VA}$$

$$P = 29,223 \text{ W}$$

$$Q = 94,202 \text{ var}$$

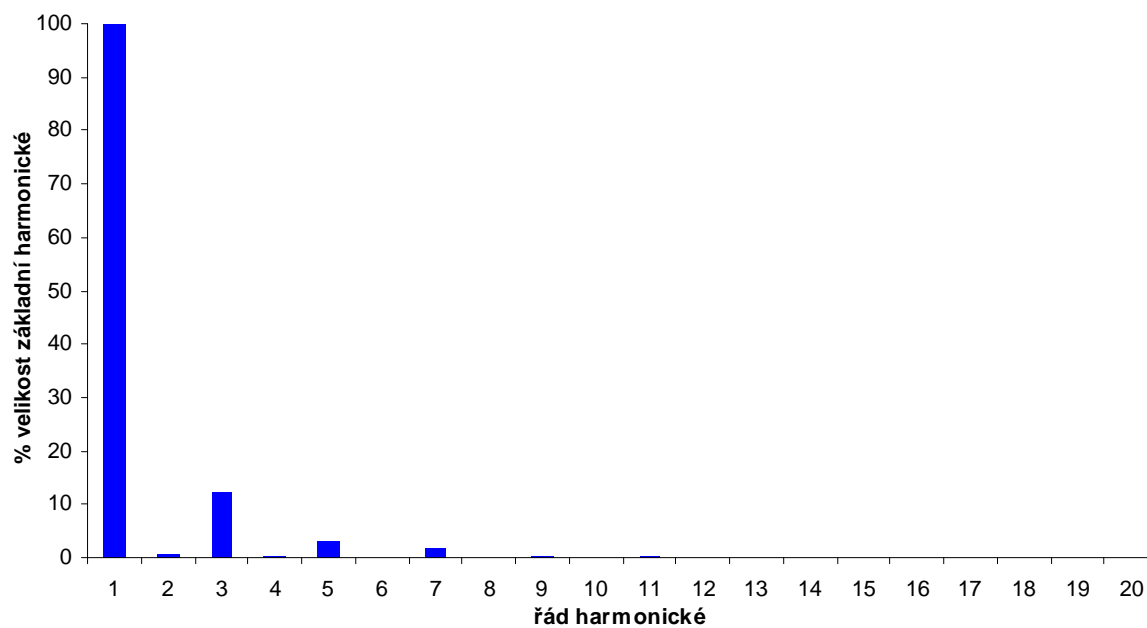
$$\lambda = 0,296$$

Na obr. 54 je průběh napětí a proudu odebíraného ze zdroje.



Obr. 54 – průběh napětí a proudu, na výstupních svorkách zdroje, zelená – napětí, fialová – proud, osa x 10 ms/d, osa y zelená 200 V/d, osa x fialová 50 mV/d

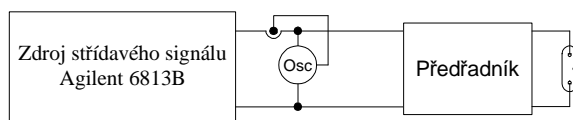
Na obr. 55 je spektrum proudu, odebírané zářivkou bez připojeného kondenzátoru.



Obr. 55 – obsah proudových harmonických

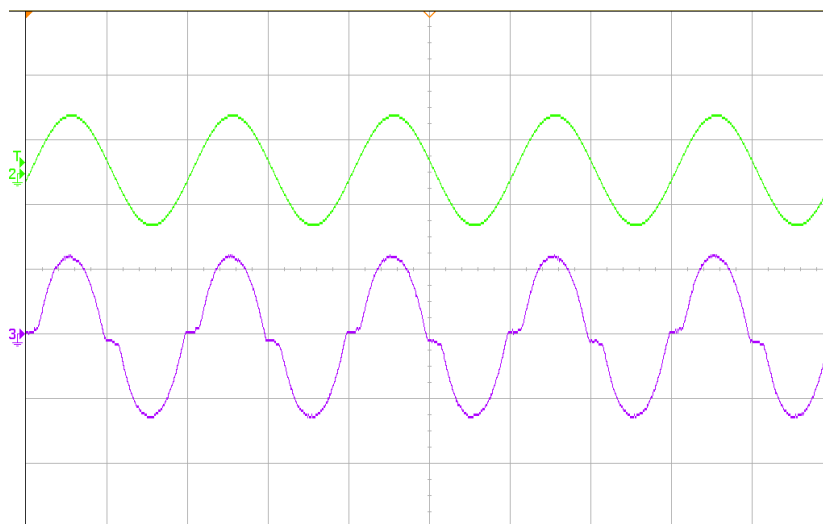
### 3.4.3 Zářivka s předřadníkem

V tomto měření je proměřována s předřadníkem, žárovka je připojena na výstup předřadníku, který je připojen na výstup zdroje, na kterém byla nastavena efektivní hodnota napětí na 120 V a frekvence na 50 Hz. Schéma zapojení je na obr. 56.



Obr. 56 – schéma zapojení měření žárovky bez připojeného kondenzátoru

Na obr. 57 je průběh napětí a proudu odebíraného ze zdroje.



Obr. 57 – Průběh napětí a proudu, na výstupních svorkách zdroje, zelená – napětí, fialová – proud, osa x 10 ms/d, osa y zelená 200 V/d, osa x fialová 20 mV/d

Naměřené hodnoty, odebírané žárovkou bez připojeného kondenzátoru:

$$\text{THD}_I = 13,49 \%$$

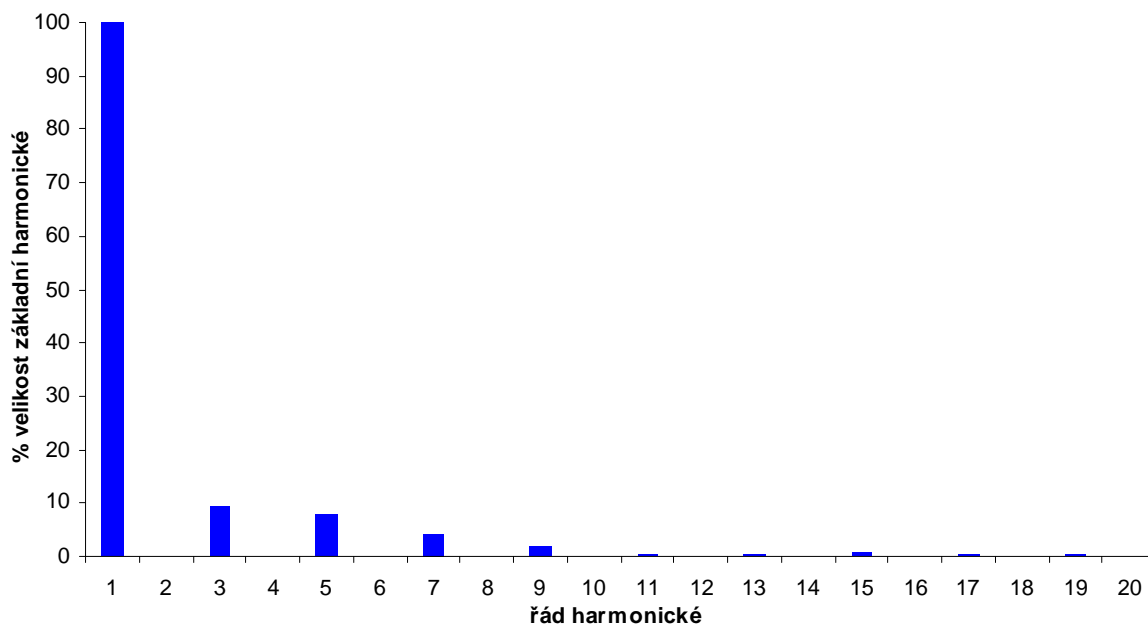
$$S = 20,294 \text{ VA}$$

$$P = 20,007 \text{ W}$$

$$Q = 3,401 \text{ var}$$

$$\lambda = 0,985$$

Na obr. 58 je spektrum proudu, odebírané zářivkou bez připojeného kondenzátoru.



Obr. 58 – obsah proudových harmonických

### 3.4.4 Srovnání naměřených výsledků na různých typech zapojení

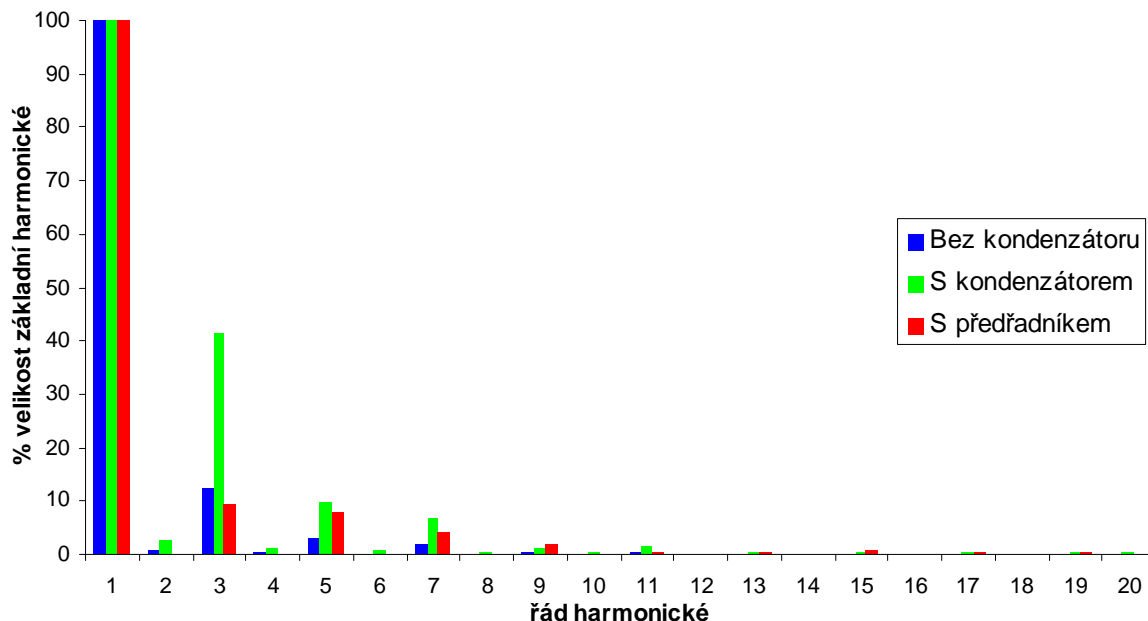
V této kapitole je celkové srovnání všech naměřených hodnot, tří zapojení se zářivkou.

Tab. 4 – naměřené hodnoty

	Zářivka s kondenzátorem	Zářivka bez kondenzátoru	Zářivka s předřadníkem
<b>THD<sub>I</sub> [%]</b>	38,98	13,1	13,49
<b>S [VA]</b>	34,639	98,631	20,294
<b>P [W]</b>	29,826	29,223	20,007
<b>Q [Var]</b>	17,613	94,202	3,401
<b>Činitel výkonu <math>\lambda</math> [-]</b>	0,861	0,296	0,985



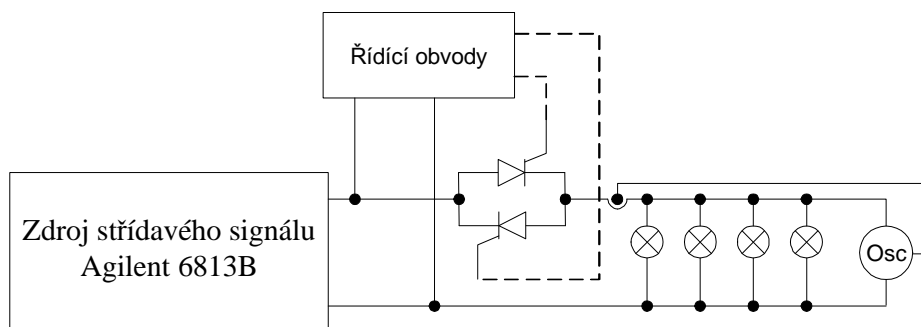
Na obr. 59 je v jednom grafu srovnání všech měřených zapojení se zářivkou.



Obr. 57 – porovnání proudových spekter

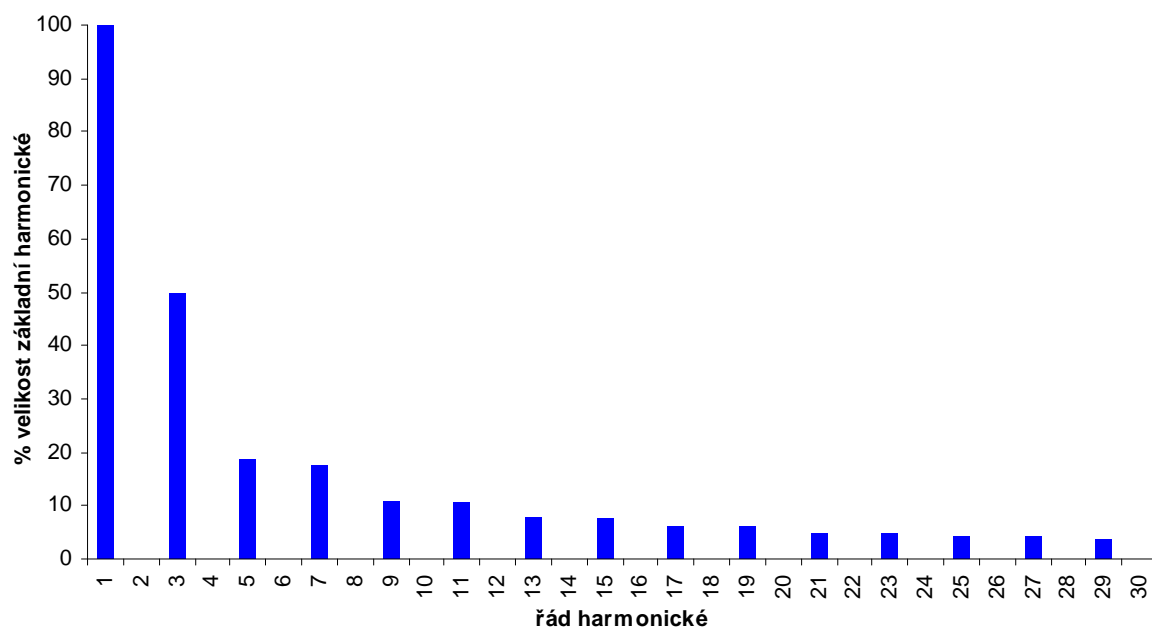
### 3.5 Měření na jednofázovém napěťovém střídači

V tomto měření jsou proměřeny vlastnosti jednofázového napěťového střídače pro různé úhly řízení. A to pro 30, 60, 90 a 120 stupňů. Proudové spektrum pro 90° je na obr. 59, spektra pro 30, 60 a 120 stupňů jsou v příloze č. 9. Ze zdroje je napájen jednofázový střídač včetně jeho řídicích obvodů. Zátěž střídače, tvořili čtyři žárovky, které byly zapojené paralelně.



Obr. 58 – schéma zapojení měření na jednofázovém napěťovém střídači

Na obr. 59 je spektrum proudu, odebírané jednofázovým střídačem při řídicím úhlu  $90^\circ$ .



Obr. 59 – obsah proudových harmonických

Tab. 5 – naměřené hodnoty

Řídicí úhel [°]	THD <sub>I</sub> [%]	P [W]	S [VA]	Q [var]	Činitel výkonu $\lambda$ [-]
30	15,3123	141,714	144,001	25,562	0,984
60	36,9231	120,565	136,371	63,727	0,884
90	52,5651	88,182	122,025	84,345	0,722
120	68,5529	46,532	96,708	84,777	0,481

## 4. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo ukázat schopnosti a možnosti využití zdroje střídavého napětí, a na základě získaných poznatků o schopnostech a možnostech tohoto zdroje vytvořit laboratorní úlohy pro studenty. Tento cíl byl splněn, kdy se první část této práce věnuje schopnostem zdroje, jako např.: vytváření různých tvaru signálů, čehož bylo využito při testování UPS. Druhá část se věnuje měřícím schopnostem zdroje, kde bylo proměřeno proudové spektrum a jednotlivé výkony u usměrňovače a řízeného usměrňovače s různou zátěží, a při proměřování vlastností zářivky s připojeným kondenzátorem, bez připojeného kondenzátoru a s předřadníkem.

Na základě těchto měření byly sestaveny tři měřící úlohy a to měření proudových spekter na dvou pulzním řízeném usměrňovači, měření na UPS a měření proudových spekter na zářivce.

Zdroj se dá ovládat dvěma způsoby, buď pomocí čelního panelu, nebo pomocí softwaru dodávaného firmou Agilent ke svým zdrojům. Pomocí obou metod se dá dostat ke stejným výsledkům, ale je lepší pro určité měření použít určitou metodu. Např. pro vytváření různých signálů a měření spekter je lepší použít software od firmy Agilent. Pro měření konkrétních hodnot, jako např. měření výkonů je lepší použít čelní panel. Software od firmy Agilent umožňuje měřit i napěťové a proudové průběhy, při měření těchto signálů je lepší použít osciloskop, který se připojí na výstupní svorky zdroje, protože zobrazení signálu pomocí osciloskopu je mnohem rychlejší.

## **Literatura:**

- [1] 6811B/6812B/6813B User`s Guide:  
URL: <<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5962-0829.pdf>> [cit. 2010-02-20]
- [2] Service manual:  
URL: <<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5962-0859.pdf>> [cit. 2010-02-20]
- [3] AC Source Graphical Users Interface Quick Start Guide  
URL:< <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5962-8191.pdf>> [cit. 2010-03-02]
- [4] Testing Uninterruptible Power Supplies Using Agilent 6800 Series ac Power Source/Analyzers  
URL:< <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5967-6056E.pdf>> [cit. 2010-03-15]
- [5] Jan Krupica.: Otázky EMC při napájení zabezpečovacích zařízení a rozvodů železničních stanic ČD. Vědeckotechnický sborník 11/2000  
URL:< <http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/1110.pdf>> [cit. 2010-03-25]
- [6] David Chapman.: Kvalita elektrické energie – průvodce. Harmonické Příčiny a účinky 3.1  
URL:< [http://www.medportal.cz/files/file/3\\_1\(1\).pdf](http://www.medportal.cz/files/file/3_1(1).pdf)> [cit. 2010-03-27]
- [7] Jaroslav Žáček.: Účíník v teorii a praxi. ELEKTRO: odborný časopis pro elektrotechniku, 12/2004.  
URL:< <http://www.odbornecasopisy.cz/download/el120404.pdf>> [cit. 2010-03-29]

**Přílohy:**

1. Měření proudových spekter na dvou pulzním řízeném usměrňovači – zadání pro laboratorní měření
2. Měření na UPS – zadání pro laboratorní měření
3. Měření proudových spekter na zářivce – zadání pro laboratorní měření
4. Měření proudových spekter na jednofázovém napěťovém střídači – zadání pro laboratorní měření
5. Přerušení napětí – doplnění obrázků k měření na UPS
6. Pokles napětí – doplnění obrázků k měření na UPS
7. Zvýšení napětí – doplnění obrázků k měření na UPS
8. Ořezání napětí – doplnění obrázků k měření na UPS
9. Proudová spektra jednofázového napěťového střídače pro řídící úhel 30, 60 a 120 stupňů
10. Popis střídavého zdroje Agilent 6913B
11. Popis softwaru AC Source GUI
12. CD s datovou verzí diplomové práce a s programem AC Source GUI